

Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní

Měření, přístroje a snímače testovacího
panelu pro kontrolu vývěv

Measurement, Test Equipment and Test Panel Sensors
for Vacuum Pumps

Student:

Stanislav Přikryl

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student:

Stanislav Přikryl

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Specializace:

70 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

**Měření, přístroje a snímače testovacího panelu pro kontrolu vývěv
Measurement, Test Equipment and Test Panel Sensors for Vacuum
Pumps**

Zásady pro vypracování:

V bakalářské práci se zabývejte možnostmi diagnostiky vakuových pump, proved'te měření a jejich vyhodnocení. V rešerši rozeberte problematiku tvorby vakua, vakuových pump atd. Proved'te celkové vyhodnocení, případně srovnajte jednotlivé způsoby, metody, popřípadě navrhněte možný způsob řešení.

V rámci zadání zpracujte:

- 1.Rešerši a analýzu dané problematiky.
- 2.Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
- 3.Zpracujte aplikaci na daný objekt.
- 4.Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Další podrobnější specifikace provede vedoucí bakalářské práce a firma Edwards, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty


Poděkování:

Rád bych poděkoval společnosti Edwards s.r.o., díky které mohla tato Bakalářská práce vzniknout, zejména panu Ing. Davidovi Študentovi za jeho ochotu a čas, který mi věnoval. V neposlední řadě bych také rád poděkoval vedoucímu mé Bakalářské práce panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. 5. 2012


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2012

Podpis: 

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PŘIKRYL, S. Měření, přístroje a snímače testovacího panelu pro kontrolu vývěv. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012, 54 s. Bakalářská práce, vedoucí Blata, J.

Bakalářská práce se zabývá především aplikací metod technické bezdemontážní diagnostiky na kontrolu jakosti vývěv. Úvodní kapitoly bakalářské práce se věnují vakuové problematice. Další kapitoly jsou věnovány rozboru konstrukce vývěvy řady nXDS a závadám, které by se mohly na těchto vývěvách vyskytnout. V dalších kapitolách jsou rozebrány metody technické diagnostiky, z kterých byl proveden výběr nejvhodnější kombinace metod pro odhalení co největšího množství závad. Vybrané metody byly ověřeny měřením na vývěvě nXDS.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PŘIKRYL, S. Measurement, Test Equipment and Test Panel Sensors for Vacuum Pumps. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2012, 54 p. The bachelor thesis, head Blata, J.

The Bachelor thesis deals mainly with applications of non-removal of technical diagnostics for quality control of vacuum pumps. Introductory chapters deal with the thesis vacuum issue. Other chapters are devoted to the analysis of pump design series nXDS and glitches that might occur in these vacuum pumps. The next chapters are discussed methods of technical diagnostics, from which were selected the best combination of methods to detect as many faults. Selected methods have been verified by measurements on the vacuum pump nXDS.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	9
Úvod	10
1 Vakuum	11
1.1 Definice vakua	11
1.2 Výroba vakua	12
1.3 Jednotky vakua	12
1.4 Vlastnosti a použití vakua	13
2 Vývěva nXDS	14
2.1 Společnost Edwards	14
2.2 Konstrukce vývěvy	15
2.3 Předpokládané závady vývěvy nXDS	16
3 Technická diagnostika	17
3.1 Význam technické diagnostiky	17
3.2 Parametrická diagnostika	18
3.3 Vibrodiagnostika	19
3.3.1 Závady vývěvy nXDS, které lze odhalit pomocí vibrodiagnostiky	22
3.4 Akustická diagnostika	27
3.5 Termodiagnostika	33
3.6 Elektrotechnická diagnostika	35
4 Aplikace diagnostiky na vývěvu nXDS	37
4.1 Měření vývěvy nXDS	37
4.1.1 Použité přístroje	37
4.2 Měření proudových spekter vývěvy nXDS	40
4.3 Měření vibrací vývěvy nXDS	42
5 Závěr	52
Použitá literatura:	53

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka-veličina	Význam	Jednotka
BPFI	Poruchová frekvence vnitřního kroužku	[Hz]
BPFO	Poruchová frekvence vnějšího kroužku	[Hz]
BSF	Poruchová frekvence valivých elementů	[Hz]
FTF	Poruchová frekvence klece	[Hz]
FFT	Rychlá Fourierova transformace	[-]
RPM	Otáčky hřídele	[min ⁻¹]
B _d	Průměr valivých elementů	[mm]
D	Průměr vnějšího kroužku ložiska	[mm]
F _u	Síla od nevývažku	[N]
P _d	Střední průměr ložiska	[mm]
S	Plocha	[mm ²]
T	Těžiště	[-]
α	Stykový úhel ložiska	[°]
λ	Vlnová délka	[μm]
ω	Úhlová rychlost	[rad·s ⁻¹]
d	průměr vnitřního kroužku ložiska	[mm]
f	Frekvence vibrací	[Hz]
n	Počet valivých elementů	[-]
cos	Hlavní osa setrvačnosti	[-]
os	Osa čepu	[-]
v	Rychlost vibrací	[mm/s]

Úvod

Vakuum je v současné době nezbytným prvkem téměř ve všech odvětvích průmyslu, své místo nachází také ve výzkumu a vědě. Zařízení pro vytváření vakua neboli tlaku nižšího než tlak atmosférický, se nazývají vývěvy. Vývěvy mohou být založeny na různých principech, liší se tedy svou konstrukcí a funkčními parametry.

V této bakalářské práci se zabývám možnostmi diagnostiky vývěv řady nXDS. Výrobce těchto vývěv je společnost Edwards s.r.o., díky které mohla tato práce vzniknout. Vývěvy nXDS jsou novou řadou suchých spirálových vývěv navazujících na předchozí řadu XDS.

Všechny vývěvy jsou na konci výrobní linky testovány, aby se k zákazníkům dostaly jen vývěvy 100% kvality. V této bakalářské práci se budu zabývat konstrukcí vývěv nXDS a závadami, které by mohli na tomto typu vývěv vzniknout. Následně se budu věnovat rozboru jednotlivých metod technické diagnostiky a závadami, které tyto metody mohou odhalit. Poté provedu výběr nejvhodnějších metod pro odhalení co největšího množství předpokládaných závad a vybrané metody ověřím praktickým měřením na vývěvě nXDS.

1 Vakuum

1.1 Definice vakua

Slovo vakuum pochází z latinského slova *vacuus*, to v překladu znamená prázdný. V technické praxi je termínem vakuum označován prostor, ve kterém je tlak plynů výrazně nižší než v prostoru o tlaku atmosférickém. Atmosférický tlak dosahuje nejvyšších hodnot při hladině moře a s rostoucí nadmořskou výškou klesá. Obecně je atmosférický tlak stanoven na 101325Pa. V teoretické fyzice je vakuum definováno jako stav systému s nejnižší možnou energií. K vymezení vakua užíváme jednotek tlaku. Vakuum rozdělujeme dle hodnoty tlaku do různých stupňů.

Stupeň vakua označení	Tlak
-Hrubé vakuum	30000 až 100Pa
-Jemné vakuum	100 až 10^{-1} Pa
-Vysoké vakuum	10^{-1} až 10^{-5} Pa
-Ultravysoké vakuum	10^{-5} až 10^{-10} Pa
-Extrémně vysoké vakuum	$<10^{-10}$ Pa

Prostor s nulovým tlakem je označován jako dokonalé vakuum. Tohoto stavu však nelze dosáhnout, ale můžeme se tomuto stavu přiblížit. Nejnižší tlak, tedy nejvyšší vakuum jaké bylo v laboratorních podmínkách dosaženo, se blížilo k hodnotě 10^{-11} Pa. Pro srovnání vakuum ve vesmírném prostoru dosahuje hodnot kolem 10^{-15} Pa. Vakuum není nikdy prázdné. Vždy v prostoru zůstane malé množství molekul, částic a záření. Ve vakuu stále vznikají a zanikají páry částic a antičástic. Jeho energie je obrovská. Vakuum nachází uplatnění nejen v technické praxi, ale i v akademickém výzkumu. Obecně platí, že čím nižšího tlaku chceme dosáhnout, tím sofistikovanější zařízení musíme použít.

1.2 Výroba vakua

Vakuum získáváme pomocí vývěv (vakuových čerpadel), ty jsou různých druhů a konstrukcí. Pro opuštění molekuly ze systému nějakým otvorem je potřeba, aby střední volná dráha molekul byla menší než rozměry otvoru. Vývěvu můžeme charakterizovat jako otvor o ploše S z prostoru o určitém tlaku do prostoru o tlaku nižším. Další charakteristickou veličinou vývěvy je čerpací rychlost. Tlak můžeme snížit následujícími postupy, nebo jejich kombinací:

- Snížením teploty při konstantním objemu a látkovém množství
- Zvýšením objemu při konstantní teplotě a konstantním počtu molekul
- Snížením látkového množství v systému za konstantní teploty a objemu

Každá vývěva pracuje v určitém tlakovém rozmezí, a proto je nutné pro dosažení nízkých tlaků použít více vývěv (vícestupňovou vývěvu). Vývěvy lze řadit sériově (za sebou) pro dosažení nízkých tlaků, nebo paralelně (vedle sebe) z důvodu větší čerpací rychlosti. Základní dělení vývěv je podle způsobu snížení tlaku na adsorpční a transportní.

Při výběru vhodného zdroje vakua pro určitou technologickou operaci bereme v úvahu:

- mezní tlak vývěvy
- cena
- čerpací rychlost (množství plynů odsávaných do vývěvy)
- vlastnosti plynů, jež jsou vývěvou odsávány (korozivní plyny apod.)

1.3 Jednotky vakua

Vakuum je tlak nižší než atmosférický a proto ho uvádíme v jednotkách tlaku. Podle soustavy SI je jednotkou tlaku Pascal (Pa). Můžeme se setkat s celou řadou dalších jednotek, z nichž některé jsou již zastaralé. Lze na ně narazit například v odborné a starší technické literatuře. Odlišné jednotky jsou také velmi často používány v anglosaské a americké literatuře. Příkladem dalších jednotek tlaku je bar, torr a další. U vakua se nejčastěji používá pozitivní konvence, která má nejnižší hodnotu tlaku 0, toho však v technické praxi nelze dosáhnout. Málo používaná negativní konvence uvádí atmosférický tlak jako tlak nulový a nižší hodnota tlaku je udávána jako hodnota záporná. Existují také % vakua, která udávají tlak v procentech atmosférického tlaku (80% vakua znamená 20%

hodnoty atmosférického tlaku). Výhradně se používá pozitivní konvence, která má všechny hodnoty kladné.

1.4 Vlastnosti a použití vakua

Vakuum neboli podtlak v praxi používáme pro jeho specifické vlastnosti. S klesajícím tlakem klesá teplota tání a varu látek. To má za následek značnou energetickou úsporu. Snížené množství kyslíku a dalších plynů v pracovní atmosféře snižuje dopady chemických reakcí na materiály a produkty. Toho se využívá například v potravinářství při vakuovém balení potravin. S tím se denně setkává každý z nás. Za pomoci vakua je vyrobena spousta dalších věcí, kterými je člověk obklopen. Jsou to televize, monitory, žárovky, výbojky, datová média (CD – DVD), zrcadla a podobně. Vakuum se používá ve všech odvětvích. Slouží k uchopování materiálů a obrobků, přepravě sypkých materiálů, par a plynů. V potravinářském a zpracovatelském průmyslu k balení, lyofilizaci (sušení ve vakuu pomocí mrazu). Výrazně také ulehčuje práci v živočišné výrobě, kde se používá k získávání mléka (dojení zvířat). Ve strojírenství k tepelnému zpracování a pokovování (nanášení tenkých vrstev kovů). Uplatnění nachází i v lékařství. V elektroprůmyslu ho najdeme v žárovkách, výbojkách, při výrobě polovodičů. Nezanedbatelné je také použití vakua v experimentální praxi, existují měřicí metody založené na analýze elektronů, iontů a atomů. Využívá se při přípravě nanostruktur, při studiu základních částic, jejich srážek a reakcí. Vakuum je velmi rozšířené a je obsaženo, nebo pomocí něj je vyrobena spousta věcí, které nás neustále obklopují, aniž o tom víme.

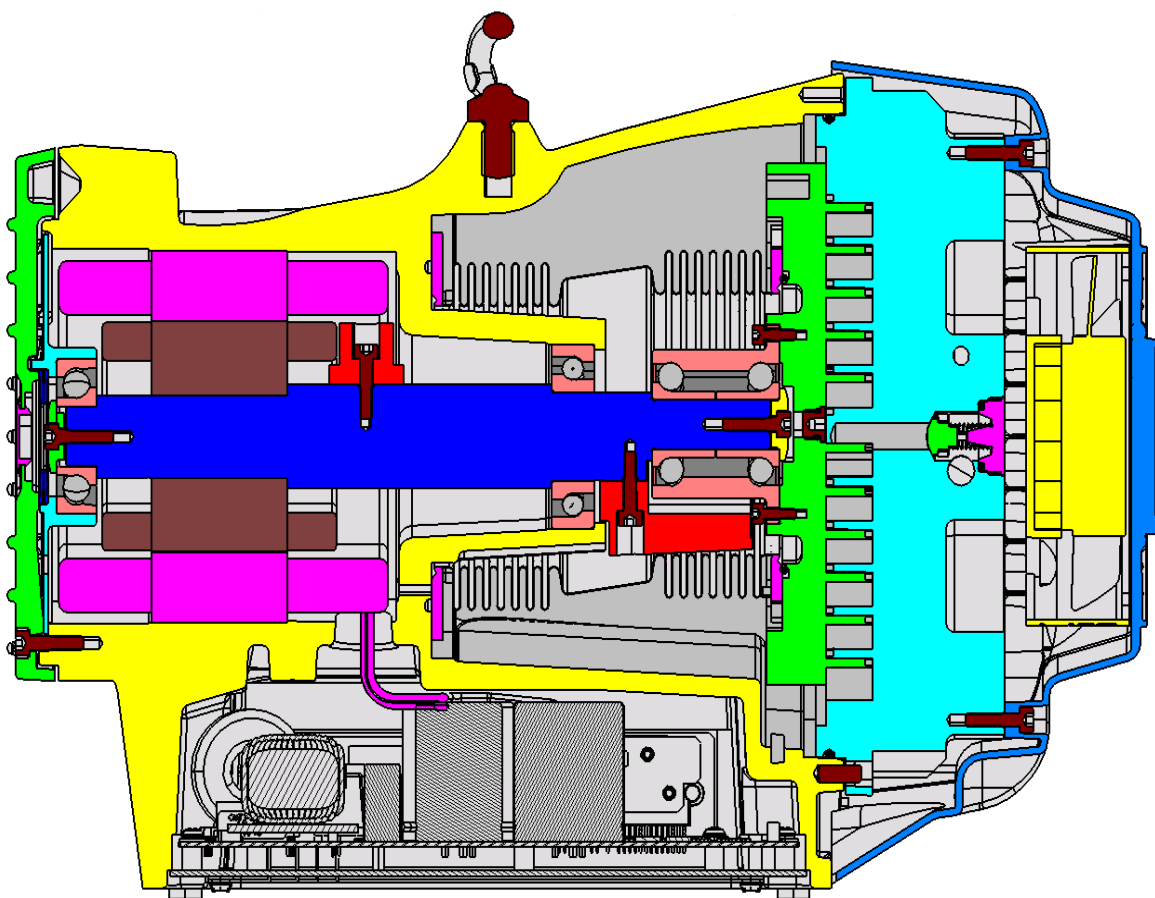
2 Vývěva nXDS

2.1 Společnost Edwards

Společnost Edwards má bohatou historii, byla založena v Anglii roku 1919 panem F. D. Edwardsem. V současné době má firma Edwards 60 výrobních závodů po celém světě, ve kterých zaměstnává 3000 lidí. Firma je předním světovým výrobcem vakuové techniky, nabízí široký sortiment výrobků pro průmyslové použití i vědecké účely.



Obr.4-1 Vývěva nXDS



Obr.4-2 Řez vývěvou nXDS

2.2 Konstrukce vývěvy

Vývěva nXDS se svou konstrukcí řadí mezi suché vývěvy. To jsou vývěvy, u kterých čerpaný plyn neprochází přes provozní kapaliny, jako je například olej a tím se zamezí znečištění čerpaného plynu. Jedná se o spirálovou vývěvu (scroll). Princip činnosti této vývěvy spočívá v excentrickém pohybu mezi pevným (fixním) a pohyblivým (orbitálním) scrollem. Čerpaný plyn vstupuje do vývěvy, kde je na obvodu scrollu nasáván a excentrickým pohybem hnán do jeho středu, odtud putuje ven z vývěvy. Základním prvkem vývěvy je skříň, která je z jedné strany uzavřena krytem a ze strany druhé pevným scrollem. Uvnitř skříně se nachází pohonná jednotka a čerpací zařízení. Pohon vývěvy zajišťuje asynchronní elektromotor s radiální vzduchovou mezerou integrovaný do vývěvy. Hlavní hřídel je uložena ve dvou ložiskách, třetí ložisko je na excentrickém osazení hřídele. Toto ložisko spojené s pohyblivým scrollem brání rotačnímu pohybu scrollu a zajišťuje jeho orbitální pohyb. Nevývaha od excentrického uložení je korigována

protizávažím. Velmi důležitá je zde přesnost jednotlivých dílů. Nejvíce důležitá je přesnost a správné ustavení scrollů, které do sebe zapadají. Jejich přesnost se pohybuje v tisícinách milimetru, aby mezi nimi nedocházelo ke tření nebo k úniku tlaku. Při čerpání plynu (změně tlaku) se část energie mění v teplo a to se projeví značným zahříváním scrollů. Při změně teploty materiály mění své rozměry a vlastnosti, proto je nutné scrolly ochlazovat. Chlazení je zde zajištěno pomocí ventilátoru, který je za fixním scrollem pod ochranným krytem. Komora vývěvy, přes kterou prochází čerpaný plyn je oddělena od ložiskového prostoru vlnovcem, ten chrání čerpaný plyn před jeho znečištěním mazivem z ložisek a také zabraňuje přisávání vzduchu z prostoru od elektromotoru. Vlnovec je připevněn přes těsnění ke skříni vývěvy a na druhé straně k orbitálnímu scrollu, tím brání jeho rotačnímu pohybu. V podstavci vývěvy je zabudována vyspělá řídicí elektronika.

2.3 Předpokládané závady vývěvy nXDS

Z konstrukce vývěvy vyplývá, že by mohlo dojít k následujícím poruchám:

- Nevyváženost
- Poruchy ložisek
- Poruchy elektromotoru
- Nesprávné ustavení scrollů
- Vadné funkční rozměry
- Netěsnost
- Vada řídicí elektroniky

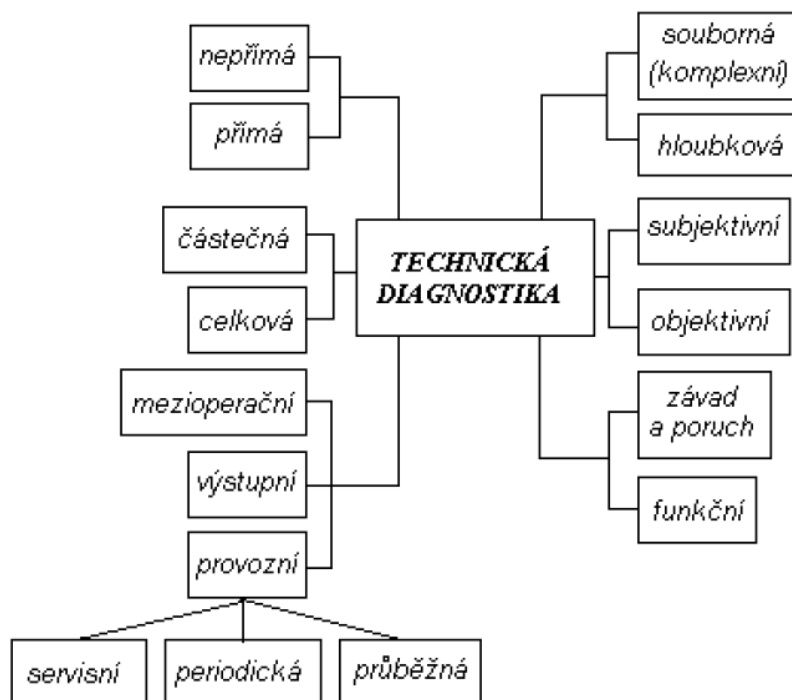
3 Technická diagnostika

Technická diagnostika se zabývá hlavně nedestruktivními a bezdemontážními metodami a prostředky, které slouží ke stanovení objektivního technického stavu objektu.

3.1 Význam technické diagnostiky

Cílem snad každé firmy je spokojenost zákazníků. Pro spokojenost zákazníků je nutné, aby produkt dodaný firmou byl 100% funkční, měl vysokou životnost, splňoval parametry udávané výrobcem a během životnosti byl bez závad. Z těchto důvodů je nutné, každou vyrobenou vývěvu otestovat. Cílem finálního testu je zjištění nedostatečných výkonových parametrů a případné odhalení závad. Důležité je aplikovat metody technické diagnostiky a její postupy tak, aby byl rozsah možných odhalení závad co největší. Finální test má také finanční přínos spojený s omezením reklamací a nákladů s nimi spojených. Finální test se provádí u všech vývěv, proto si může být firma jistá, že dodává svým zákazníkům výrobky 100% kvality.

Rozdělení technické diagnostiky:



Obr. 6-1 Rozdělení technické diagnostiky [6]

Základní úlohou technické diagnostiky je určení diagnózy (vyhodnocení provozuschopnosti), stanovení okamžitého technického stavu stroje za daných podmínek. Prvním krokem ke stanovení diagnózy je odhalení (detekce) vady nebo poruchy. V případě odhalení vady je důležité určení místa, v kterém se vada nachází (lokalizace), dále je nutné z diagnostického signálu určit příčinu vady nebo poruchy (specifikace). Posledním krokem je (predikce) stanovení času do nutné opravy.

3.2 Parametrická diagnostika

Odvíjí se především od požadavků zákazníků, slouží k určování výkonových parametrů vývěvy. Mezi hlavní výkonové parametry vývěvy patří mezní tlak (nejnižší tlak jakého může vývěva dosáhnout), čerpací rychlost a těsnost vývěvy.

Těsnost vývěvy

Vývěva nXDS dosahuje tlaku 10^{-3} mbar. Test těsnosti této vývěvy se provádí odsáním vzduchu z vývěvy na tlak 10^{-7} mbar, poté se do okolí vývěvy aplikuje helium a sleduje se pokles tlaku ve vývěvě. Molekuly helia jsou menší než molekuly vzduchu, projdou tedy netěsnostmi, kterými molekuly vzduchu neprojdou. Jestliže tlak ve vývěvě neklesne pod určitou hodnotu, vývěva vyhovuje.

Mezní tlak

Nejnižší tlak jakého je vývěva schopna dosáhnout. Aby vývěva prošla finálním testem, musí dosáhnout požadovaného tlaku. Pro měření tlaku existuje rozmanité množství metod založených na různých fyzikálních principech (tlakové váhy, membránové manometry, pirani vakuometry, atd.). Já osobně doporučuji kapacitní snímače pro jejich přesnost a rychlou reakci na změnu tlaku, i přes jejich velké rozměry a vysokou pořizovací cenu.

Čerpací rychlost

Čerpací rychlost vývěvy se udává jako přepravené množství plynu za určitý čas. Měření se provádí pomocí průtokoměrů.

3.3 Vibrodiagnostika

Je jednou z metod technické bezdemontážní diagnostiky rotujících strojů. Každý rotující stroj vyvolává mechanické kmitání (vibrace), kterým se v provozní praxi nelze vyhnout. V mechanickém kmitání se odráží technický stav daného stroje a proto při vibrodiagnostice používáme vibrace jako parametr pro zjištění objektivního technického stavu diagnostikovaného zařízení. Vibrace mohou být zapříčiněny nevývahou, nesouosostí rotujících částí, technickým stavem ložisek, hřídelí, převodovek, vůlemi, třením, stykem rotujících částí apod. U vibrací tedy u mechanického kmitání lze měřit jejich rychlost, zrychlení a výchylka. Tyto parametry jsou pomocí snímačů převáděny na elektrický náboj, který je dále zpracováván.

Snímače vibrací

Rozlišujeme dva nejzákladnější typy snímačů:

- Seismická zařízení, která se montují na konstrukci stroje a jejichž výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce [4]
- Snímače relativní výchylky, které měří vibrační výchylku a střední polohu mezi rotujícími a nerotujícími elementy [4]

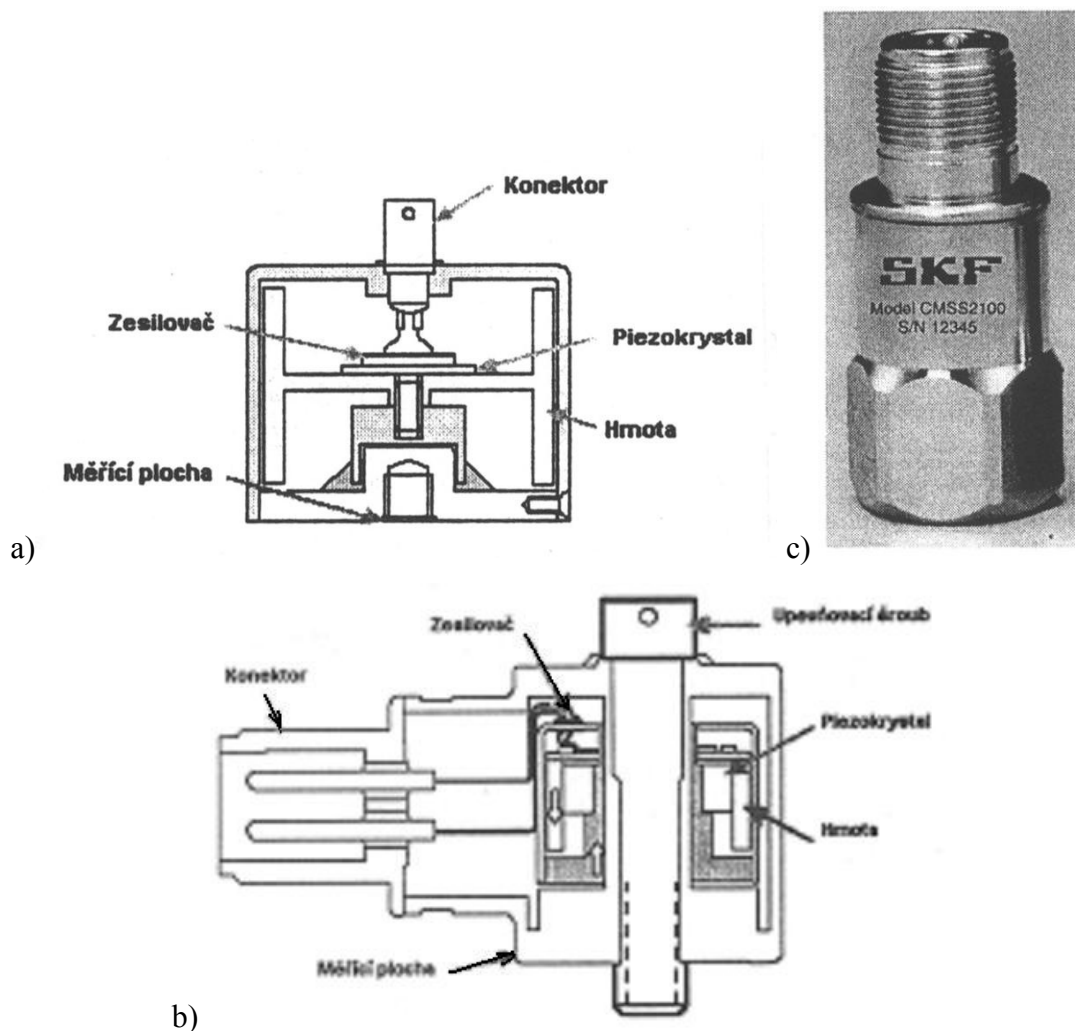
Dalším možným typem snímačů jsou tenzometry, jejich použití pro měření vibrací je však neobvyklé. Výběr snímače také závisí na měřené veličině (rychlost, zrychlení, výchylka) vibrací a na tom, zda měříme absolutní nebo relativní vibrace, zda měříme nízké nebo vysoké frekvence.

Snímače pro monitorování stavu vibrací jsou:

Akcelerometr je nejrozšířenějším snímačem vibrací, jeho výstupní signál je možné zpracovávat tak, abychom získali libovolnou veličinu (rychlost, zrychlení, výchylku) vibrací. Akcelerometry jsou seismická zařízení, zpravidla se montují na nerotující konstrukci stroje, jejich lineární rozsah by měl překrývat sledované frekvence.

Akcelerometry se vyrábí v různých velikostech, jejich charakteristickou vlastností je široký frekvenční a velký dynamický rozsah. Lze je použít při vysokých teplotách a v silných magnetických polích.

Typický akcelerometr obsahuje jeden nebo více piezoelektrických krystalových elementů. Piezoelektrický krystal vytváří elektrický náboj, který je úměrný působící síle. Podle jeho umístění a hmoty ve snímači rozeznáváme dva druhy akcelerometrů, **tlakový** a **smykový** [4]



Obr. 6-2 [4]

Akcelerometry:

a) tlakový

b) smykový

c) skutečné provedení [4]

Snímač rychlosti vibrací, jehož výstup lze integrovat na výchylku vibrací. Snímač rychlosti je seismické zařízení, které vytváří napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Obecně se snímače rychlosti montují na nerotující konstrukci stroje. Typický snímač rychlosti vibrací má uvnitř cívku, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu. [4]

Bezdotyková sonda se používá pro měření výchylky rotujících částí vůči stacionárnímu ložisku nebo skříni stroje. Bezdotyková sonda se používá v případech, kdy je hmotnost rotujících částí stroje podstatně nižší než hmotnost stacionárního rámu stroje. Při použití bezdotykové sondy v kombinaci se seismickým snímačem, který je integrován na měření výchylky, můžeme měřit absolutní hodnotu výchylky hřídele. Té docílíme vektorovým součtem dvou signálů výchylky.

Přípevnění snímačů

Velký vliv na správné měření vibrací má přenos signálu ze stroje do snímače a to je ve velké míře ovlivněno uchycením snímače. Vhodný způsob uchycení závisí převážně na technickém provedení a přístupnosti k měřenému zařízení. Způsob upevnění má největší vliv na frekvenční odezvu snímače, největší ovlivnění je při měření vysokých frekvencí.

Metoda přípevnění	Vliv na výkonnost snímače (např. snímače s rezonancí 30 kHz)
Pevný šroubový spoj	Žádné snížení rezonanční frekvence akcelerometru v důsledku přípevnění
Izolovaný šroubový spoj	Pokud je pro zabránění vzniku zemních smyček a jiných vlivů použit tuhý nevodivý materiál, jako je podložka ze slídy, montážní rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz.
Přilepení tuhým lepidlem	Rezonance je snížena asi na 28 kHz
Přilepení měkkým epoxidem	Rezonance je snížena asi na 8 kHz
Přípevnění permanentním magnetem	Rezonance je snížena asi na 7 kHz
Ruční sonda se snímačem	Rezonance je snížena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz.

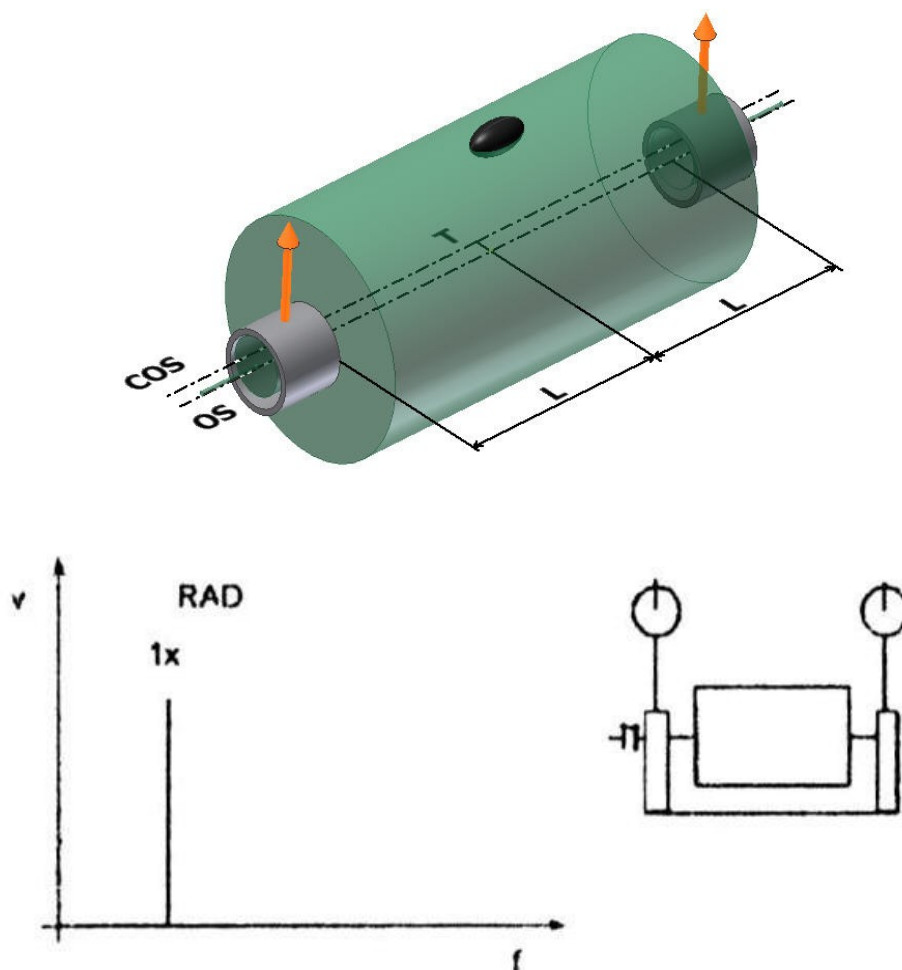
Tab. 6-1 Vliv přípevnění na snímače vibrací [4]

3.3.1 Závady vývěvy nXDS, které lze odhalit pomocí vibrodiagnostiky

Nevyváženost

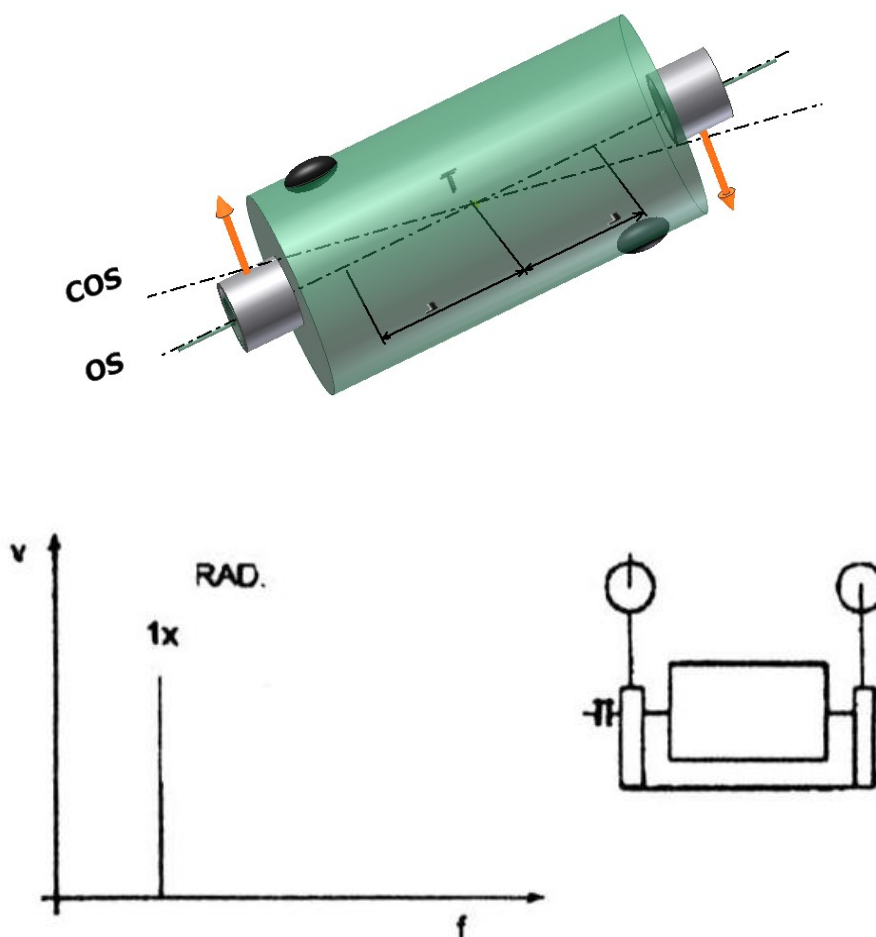
Je nejčastější příčinou závad. Rozlišujeme tři základní typy nevyváženosti: statickou, momentovou a dynamickou. Čistá nevyváženost má ve spektru vibrací sinusový průběh, ve frekvenčním spektru se zobrazí na první otáčkové frekvenci. Pro odhalení nevyváženosti je nutné měřit celkové frekvenční spektrum vibrací a fázi.

Statická nevyváženost nastává, když těžiště není v ose rotace. Hlavní osa setrvačnosti prochází těžištěm a je tedy posunuta mimo osu rotace. Ve spektru se projeví stejnou fází a dominantní složkou na první otáčkové frekvenci. U statické nevyváženosti amplituda roste s kvadrátem otáček ($3x$ zvýšení otáčkové frekvence = $9x$ větší vibrace).



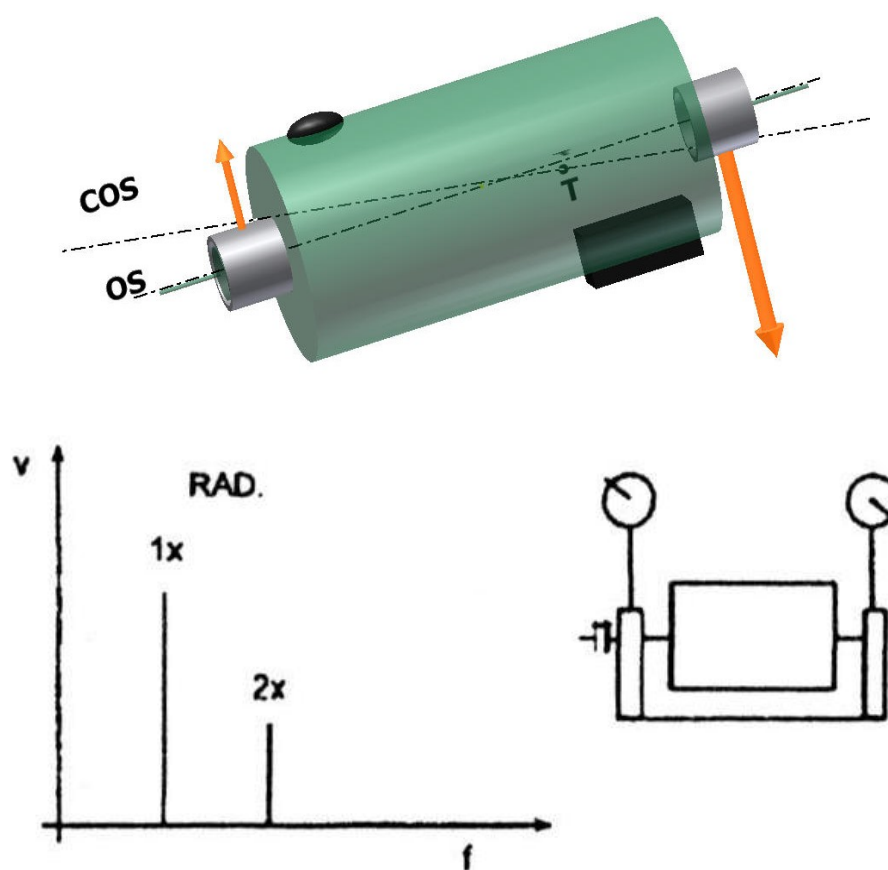
Obr. 6-3 Statická nevyváženost [4] [22]

Momentová nevyváženost nastává, když hlavní osa setrvačnosti svírá s osou rotace určitý úhel a protíná ji v těžišti rotoru. Ve spektru se zobrazí jako dominantní složka na první otáčkové frekvenci. Na stejném hřídeli se ve fázi zobrazí pootočená o 180° . Způsobuje velké radiální i axiální vibrace.



Obr. 6-4 Momentová nevyváženost [4] [22]

Dynamická nevyváženost se vyskytuje nejčastěji a je kombinací statické a momentové nevyváženosti. Hlavní osa setrvačnosti neprotíná osu rotace v těžišti. Má dominantní složku na první otáčkové frekvenci. Velká nevyváženost se může projevit i na druhé otáčkové frekvenci. Rozdíl fází je obecný od 0° do 180° .

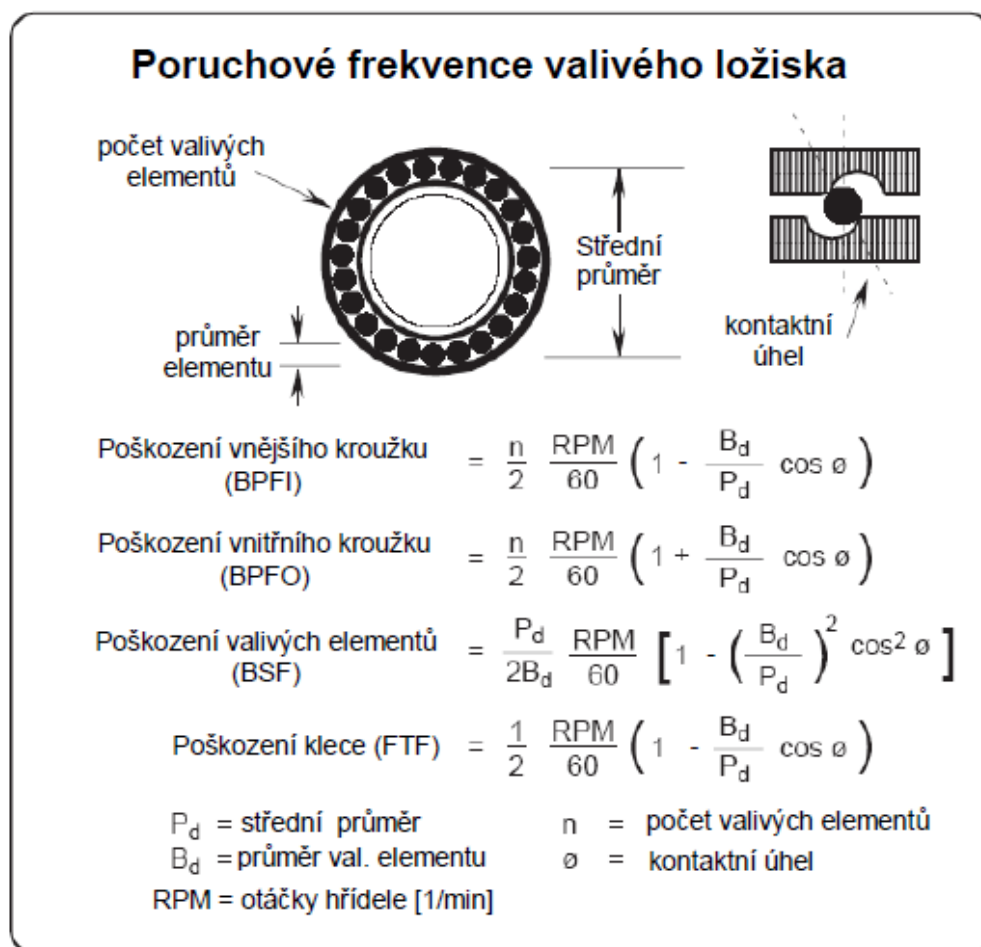


Obr. 6-5 Dynamická nevyváženost [4] [22]

Poruchy ložisek

Většina poruch valivých ložisek vzniká až během provozu stroje. Takto vzniklé poruchy dělíme do několika fází poškození od začínajících vad v ultrazvukové oblasti až po konec životnosti ložiska charakterizovaný náhodným širokopásmovým vysokofrekvenčním šumem. V našem případě testujeme nové zařízení, proto bych se zabýval vadami ložisek, které mohou vzniknout již před provozem stroje, např. nesprávnou montáží nebo špatným uskladněním ložisek.

Každý výrobce ložisek uvádí k jednotlivým ložiskům jejich poruchové frekvence, které si můžeme podle číselného označení ložiska dohledat. V případě, kdy neznáme číselné označení ložiska, si můžeme jeho poruchové frekvence spočítat z jeho rozměrů, otáček a počtu valivých elementů podle následujících vztahů.

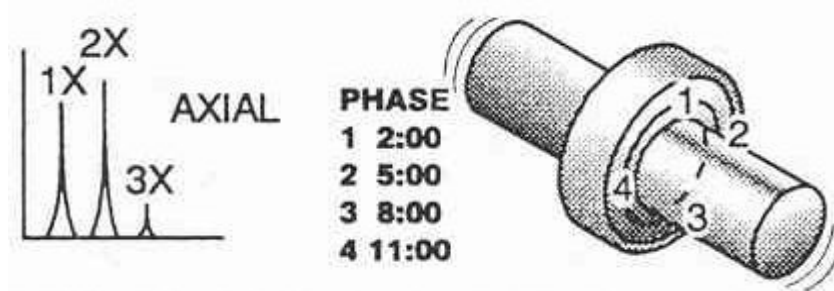


Obr. 6-7 Poruchové frekvence valivého ložiska [4]

Při poškození ložiska špatným uskladněním nebo špatnou montáží mohou vzniknout vady uvedené na obr. 6-7 Tyto vady hledáme na příslušných poruchových frekvencích.

Nesouosé ložisko (nakřivo na hřídeli)

Vyvolá velké axiální vibrace. Způsobí kroutivý pohyb s fázovým rozdílem 180°. Ložisko je nutné demontovat a nalisovat správně.



Obr. 6-8 Nesouosé ložisko [7]

Elektricky buzené vibrace

Vývěvu pohání asynchronní elektromotor s radiální vzduchovou mezerou, integrovaný do vývěvy. Stroje poháněné elektromotory trpí nejen klasickými vibracemi rotačních strojů, ale také na ně působí vibrace čistě elektrického původu. U elektromotorů a dalších zařízení (transformátory, generátory) nastává jev zvaný magnetostrikce, deformace magnetických materiálů v magnetickém poli, která způsobuje vibrace na dvojnásobku frekvence jdoucí z frekvenčního měniče. Mezi statorem a rotorem elektromotoru vzniká magnetická přitažlivost nebo odpudivost měnící se s frekvencí, to způsobuje vibrace statoru s danou frekvencí. Někdy může být problém odlišit vliv magnetické složky od druhé otáčkové frekvence stroje. Po vypnutí stroje zmizí magnetická složka, ale složka od druhé otáčkové frekvence zůstane a bude klesat s otáčkami stroje. Možné příčiny poruch elektromotorů, jsou uvedeny v následující tabulce.

příčina vibrací	frekvence symptomu	dominantní rovina	poznámka
nevyvážený rotor	1X	radiální	Typ nevyváženosti podle fázových poměrů
ohnutý hřídel nebo úhlová nesouosost	1X, 2X	axiální	
rovnoběžná nesouosost	1X, 2X	radiální	
mechanické uvolnění	1X, 2X, 3X,... také 0,5X, 1,5X...	radiální	Vysoký počet harmonických a interharmonických charakterizuje ořezání
poškozené valivé ložisko	indukovaná rezonance ložiskového domku nebo stroje, 1 až 20 kHz	-	Rezonance jsou buzeny rázy při valení přes vadu. Vyskytují se také frekvence závad, které jsou obecně ztraceny v šumu.
Statická excentricita	2 x síťová frekvence a komponenty na synchronní otáčkové frekvenci	radiální	Může být důsledkem špatného vnitřního ustavení, opotřebení ložiska, nebo lokálního ohřevu statoru (Vibrace se zhoršují při ohřátí motoru)

uvolnění uchycení statoru, nevyvážený odpor fází nebo cívek, zkratované plechy, závity	2 x síťová frekvence	radiální	Uvádí se jako „volné železo“ Je obtížné odlišit tuto skupinu jen na základě analýzy vibrací, ale budou přítomny při chodu bez zatížení i se zatížením.
uvolněné statorové plechy	2 x síťová frekvence a komponenty s odstupem 2 x síťová frekvence asi okolo 1 kHz	radiální	Může být vysoká amplituda, ale obvykle není destruktivní. Vysoké frekvenční složky mohou být podobné těm při statické excentricitě
dynamická excentricita	1X s postranními pásmy 2 x skluz a komponenty na synchronní otáčkové frekvenci	radiální	Může být důsledkem ohnutí rotoru, házivosti rotoru nebo v důsledku místního ohřevu rotoru (Vibrace se zhoršují při ohřátí motoru)
prasklá rotorová tyč, uvolněná tyč rotoru, zkratované plechy rotoru, špatný spoj na koncovém kruhu	1X s postranními pásmy 2 x skluz a komponenty podobné těm pro dynamickou excentricitu	radiální	Postranní pásma mohou mít nízkou úroveň, což vyžaduje velký dynamický rozsah a frekvenční rozlišení měřicího přístroje.

Tab. 6-2 Příčiny poruch elektromotorů [8]

Nesprávné ustavení scrollů

Tato závada má velký vliv na správnou funkčnost vývěvy, proto ji odhalíme při testování funkčních parametrů vývěvy. Ve vibračním spektru by se projevila axiálními vibracemi na otáčkových frekvencích.

3.4 Akustická diagnostika

Pohybující se části stroje vyvolávají vibrace, stejně tak i hluk, který vzniká přenosem energie ze stroje do okolního prostředí. Hluk v sobě nese informace o technickém stavu zařízení, proto na něj pohlížíme jako na diagnostickou veličinu. Hluk se šíří prostředím s výrazným směrovým účinkem. Akustická diagnostika využívá stejné nástroje zpracování signálu, a také používá podobné přístrojové vybavení jako diagnostika vibrační.

Základní pojmy akustiky:

Zvuk je mechanické vlnění pružného prostředí (vzduchu) v kmitočtovém rozsahu normálního lidského sluchu (20 Hz až 20 kHz). [10]

Hluk je každý nežádoucí zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem nebo poškozuje lidské zdraví.

Akustický tlak je tlak od zvukové vlny.

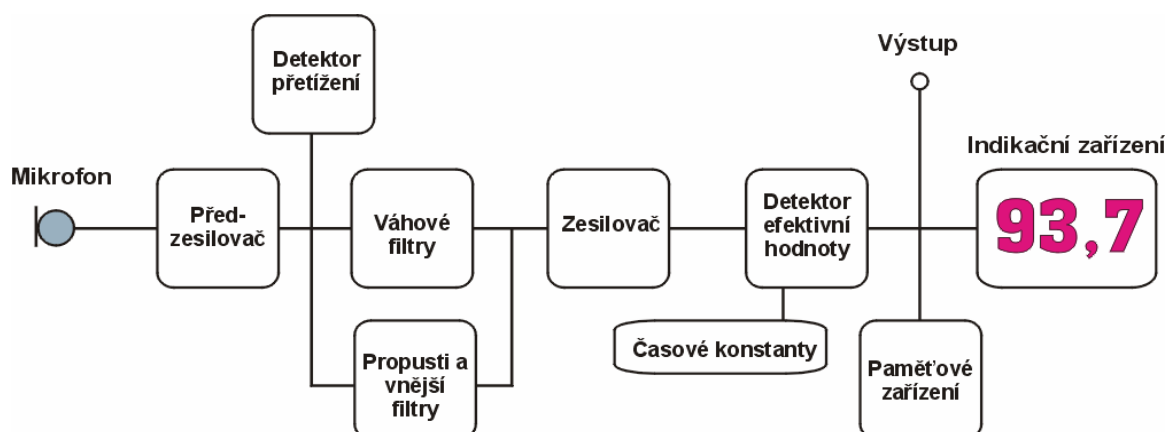
Akustická rychlost je rychlost šíření částic prostředím.

Intenzita zvuku je energie, která dopadne za jednotku času na jednotku plochy.

Akustický výkon je energie, procházející danou plochou

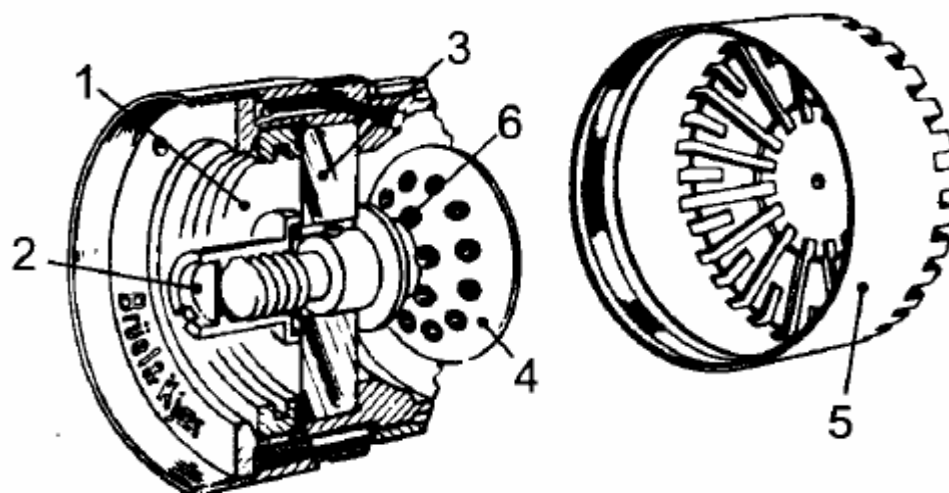
Rychlost zvuku je rychlost šíření akustické informace prostředím.

Zvukoměr je elektrické zařízení používané pro akustická měření. Nejčastěji měřenou hodnotou je akustický tlak a hladina akustického tlaku. Každý zvukoměr musí obsahovat mikrofon, ustrojí zpracování signálu a indikační zařízení.



Obr. 6-9. Schéma zvukoměru [10]

Mikrofon je snímač akustického tlaku, tvoří základní prvek měřicího řetězce. Nejčastěji se používají kondenzátorové mikrofony, jejich charakteristickými vlastnostmi jsou vysoká citlivost a provozní stálost. Princip činnosti těchto mikrofonů je založen na kondenzátoru s proměnnou kapacitou. Jedna elektroda kondenzátoru je pevná a druhou tvoří pohyblivá tenká membrána. Kapacita kondenzátoru se mění podle výchylky membrány od tlaku zvukové vlny. Mikrofon většinou pracuje s polarizačním napětím, nebo je jeho pevná elektroda obalena vrstvou elektretu s nabitými částicemi, které nahrazují polarizační napětí. Mikrofony se vyznačují směrovou citlivostí závislou na frekvenci, při nízkých frekvencích jsou mikrofony všesměrové.



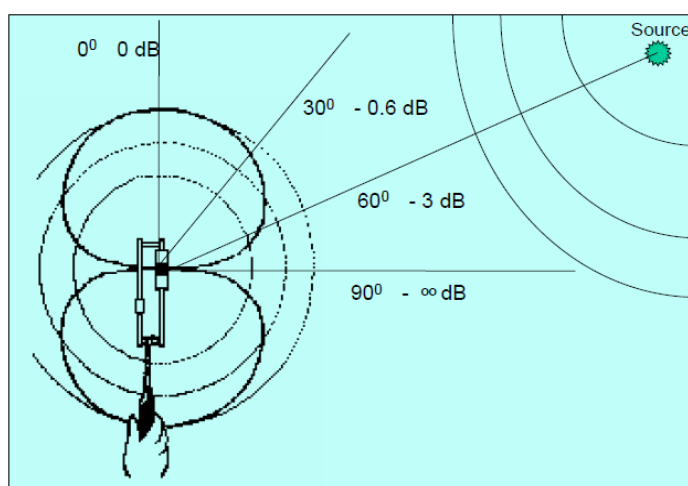
Obr. 6-10 Měřicí kondenzátorový mikrofon [9]

1 pružné uložení, 2 konektor, 3 křemenný izolátor, 4 pevná elektroda,
5 ochranná mřížka, 6 membrána

Pro určení místa zdroje hluku je vhodná vektorová veličina. Vektorovou veličinou je intenzita zvuku, ta však nelze měřit přímo. Pro měření intenzity zvuku se používá tzv. dvoumikrofonní sonda, která se skládá ze dvou sousedících mikrofonů. Pomocí této sondy lze stanovit energetické toky i se směry jejich šíření. V případě, že se v akustickém poli vyskytuje více zdrojů hluku je problém stanovit dílčí toky hluku od jednotlivých zdrojů včetně hluku odrazů a pozadí. Proto je vhodné měření provádět v bezodrazové komoře nebo alespoň odstínit rušivé zdroje hluk.



Obr. 6-11 Sonda intenzity zvuku [11]



Obr. 6-12 Lokalizace pomocí intenzitní sondy [11]

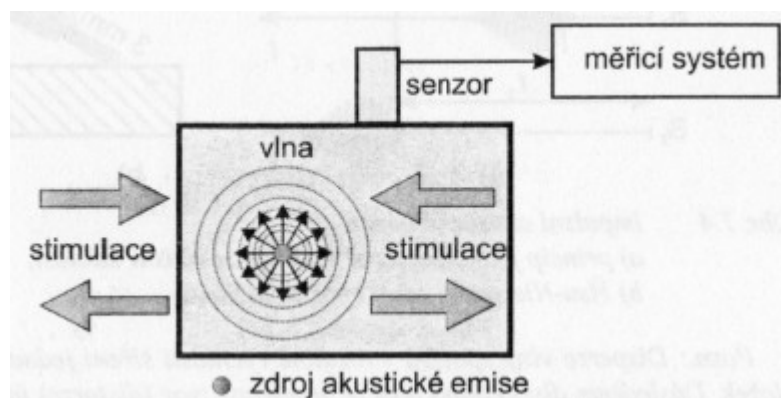
Akustická holografie v blízkém poli, tímto termínem označujeme skupinu metod, umožňujících rekonstrukci akustických veličin (akustický tlak, intenzita nebo výkon), příslušných k objektu ve třírozměrném prostoru, na základě měření akustického tlaku ve vhodné rovině. [5]

Jednou z možných modifikací je planární akustická holografie v blízkém poli. Tato metoda využívá akustických měření v rovině blízké objektu pro rekonstrukci průběhu rychlosti elementárních plošek povrchu objektu. Akustická měření jsou obvykle prováděna mikrofony rozmístěnými v pravidelné mřížce vhodných rozměrů. Metoda je omezena pouze na rekonstrukci v ploše paralelní k ploše měřicí, proto je vhodná pro měření na objektech s plošnou strukturou. [5]

Planární akustická holografie v blízkém poli lze za jistých podmínek využít také pro bezdotykové měření vibrací, metoda je ale frekvenčně omezena. Alternativní metodu akustické holografie v blízkém poli, která není omezena na planární struktury, nazýváme inverzní metoda okrajových prvků. Povrch libovolného zdroje se modeluje pomocí elementárních plošek. K nevýhodám této metody patří velká požadovaná hustota mřížky mikrofonů a občasný výskyt nejednoznačných výsledků při některých charakteristických frekvencích. [5]

Akustická emise

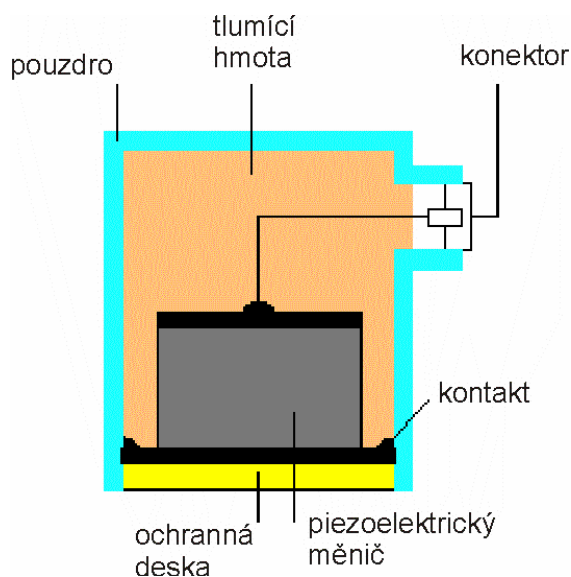
Akustická emise nastává ve zdroji akustické emise při uvolnění energie vlivem stimulace vnitřními nebo vnějšími silami. Akustická emise je emitována nevratnými dislokačními a degradačními procesy v mikrostruktuře a makrostruktuře materiálu, kavitačními procesy v hydrodynamických systémech, turbulencí při úniku kapaliny z potrubí, degenerací dielektrika atd. Uvolněná energie se přeměňuje na mechanický napětřový impuls šířící se materiálem jako elastická napětřová podélná nebo příčná vlna. [5]



Obr. 6-13 Vznik a šíření vlny při události akustické emise [5]

Při dopadu vlny na rozhraní se vzduchem, tj. na povrch tělesa, částečně dochází k jejímu odrazu a částečně k její přeměně na jeden nebo více módů a vlna se dále šíří převážně povrchovou vlnou. Kromě povrchové vlny dochází také k přeměně na deskové vlny. Je důležité připomenout, že jednotlivé typy vln se šíří s různou rychlostí. Elektrický signál detekovaný na snímači akustické emise označujeme jako signál akustické emise. [5]

Moderní provedení senzorů obsahuje zabudovaný předzesilovač. I když energie vlny je velmi malá, citlivé piezoelektrické senzory jsou schopné zaznamenat dislokace v materiálu v řádech 10^{-14} m. Pro bezztrátový přenos energie mezi povrchem tělesa a senzorem je nutné použít vazební prostředí (vazelína, olej, speciální suspenze). Pro teploty nad 100°C se mezi piezoelektrický senzor a povrch měřeného tělesa vkládá zvukovod. [5]



Obr. 6-14 Piezoelektrický snímač akustické emise [12]

V technické diagnostice je metoda akustické emise používána pro diagnostiku rotačních objektů (tření a kavitace u ložisek, převodovek aj.), pro detekci a lokalizaci vznikajících mikrotrhlin a jejich šíření, rozevírání a svírání ve stěnách tlakových nádob a potrubních systémů, u leteckých konstrukcí, u konstrukcí mostů apod. [5]

Výhoda akustické emise oproti jiným defektoskopickým metodám je v kontinuálním monitorování objektu a v úspoře času oproti postupnému testování jinými metodami. Nevýhoda metody je, že přesně neznáme příčinu vzniku akustické vlny, neboť uvolněná energie je ovlivňována řadou faktorů, jako je tvar a povrch tělesa, přenosová cesta vlny (funkce šíření akustické vlny) daná strukturou a homogenitou materiálu, aj. [5]

Srovnání výhod akustické a vibrační diagnostiky

Hlavní výhodou akustické diagnostiky je bezkontaktní snímání akustického signálu. Další výhodou je propracovaná metodika zpracování a hodnocení naměřených dat (frekvenční analýza, celkové hladiny, akustický výkon, intenzita zvuku). Nevýhodou je ovlivnění parazitními odrazy a interferencí v uzavřených prostorech. Problémem je také rušení signálu šumem z pozadí. Akustická diagnostika má vyšší náklady oproti vibrační diagnostice.

Nevýhodou vibrační diagnostiky je velké ovlivnění vibračního signálu nesprávnou volbou měřicího místa, způsobem upevnění snímačů a v neposlední řadě špatnou volbou měřené veličiny (rychlost, výchylka, zrychlení).

Měřením akustického signálu můžeme na vývěvě nXDS odhalit následující poruchy:

- Vada na vnitřním kroužku ložiska.
- Vada na vnějším kroužku ložiska.
- Vada na valivém elementu ložiska.
- Vadu na elektromotoru.
- Poruchu ventilátoru.

3.5 Termodiagnostika

Je další z metod technické bezdemontážní diagnostiky. Diagnostickým parametrem vypovídajícím o stavu stroje je teplota. Změna teploty některého strojního zařízení oproti jeho běžné provozní teplotě vypovídá o závadě, poruše na daném strojním zařízení. Základní rozdělení přístrojů pro měření teploty je na dotykové a bezdotykové, dále se rozdělují podle jejich principu činnosti. Pro dosažení stejných výsledků měření byla zavedena termodynamická teplotní stupnice, která udává teplotu T v jednotkách zvaných kelvin [K]. Existuje ještě několik dalších teplotních stupnic. U nás se nejčastěji používá Celsiova teplotní stupnice, ta používá pro vyjádření teploty t jednotku [$^{\circ}\text{C}$] stupeň Celsia. Zavedena byla také Mezinárodní teplotní stupnice 1990 - ITS-90 (The International Temperature Scale of 1990) značená T_{90} . Nejnižší hodnotou této stupnice je 0,65K, stupnice je sestavena tak, že těsně vyjadřuje číselné hodnoty termodynamické teploty.

Dotykové teploměry

Při měření musí být v kontaktu s měřeným povrchem (prostředím). Rozděluje se podle fyzikálního principu na:

Dilatační jsou založeny na roztažnosti látek.

Odporové využívají elektrického odporu vodičů, polovodičů a jejich teplotní závislosti.

Termoelektrické využívají napětí termoelektrického článku a jeho teplotní závislosti

Speciální založené na různých fyzikálních principech.

Bezdotykové teploměry

Podle měřicího principu se rozdělují na přímoměřicí a zobrazovací. Mezi přímoměřicí patří pyrometry, mezi zobrazovací patří fototermometrie a termovize.

Pyrometry

Je možné rozdělit podle mnoha hledisek, jako je způsobu měření, optický systém, spektrální oblast využitého záření. Nejvhodnější způsob rozdělení pro praxi je podle spektrální oblasti využitého záření, a to na:

- a) spektrální - (jasové, monochromatické) - využívají tepelného záření při jedné vlnové délce, zpravidla $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$; [13]
- b) pásmové - využívají tepelného záření v úzkém pásmu vlnových délek, které je dáno absorpčními vlastnostmi použitého detektoru záření; [13]
- c) na spektrální rozložení - (barvové) - využívají tepelného záření při dvou vlnových délkách, zpravidla při $\lambda_1 = 0,55 \mu\text{m}$ a $\lambda_2 = 0,65 \mu\text{m}$ (zelená a červená barva); [13]
- d) na celkové záření - (radiační) - využívají tepelného záření ve velké oblasti vlnových délek (teoreticky v celém rozsahu), který je omezen pouze absorpční schopností použitého detektoru a propustností optiky pyrometru. [13]

Fototermometrie

Jedná se o fotografické měření teploty pomocí fotoaparátu a fotografického materiálu s vysokou citlivostí na infračervené záření. Vyhodnocení snímku se provádí pomocí teplotního měřítka se známým rozložením teploty.

Termovize

K měření teploty využívá infračerveného záření povrchu těles. Teplotní pole se snímá speciální kamerou a zobrazuje se na obrazovce jako termogram. Termogram zobrazuje teplotní rozložení na měřeném povrchu pomocí odstínů šedi nebo pomocí barev. Většina termovizních kamer umožňuje ukládat termogramy do paměti zařízení spolu s fotografiemi měřeného pole.

Měřením teploty můžeme na vývěvě nXDS odhalit:

- Poruchy ložisek
- Oteplení elektromotoru
- Nesprávné ustavení scrollů (tření mezi scrolly)
- Nefunkční chladicí ventilátor

Srovnání termodiagnostiky s vibrodiagnostikou

Výhodou termodiagnostiky je rychlé a přehledné zjištění místa závady, ale neurčíme, o jaký druh závady se jedná, určíme pouze, na kterém prvku zařízení se závada vyskytla. Vibrodiagnostika je pomalejší a mnohem složitější metoda než termodiagnostika, ale výhodou je odhalení většího množství druhů závad a přesné určení o jakou závadu se jedná.

3.6 Elektrotechnická diagnostika

Je další bezdemontážní metodou zjišťování závad elektrických točivých strojů. Jako diagnostického parametru se zde využívají el. veličiny, nejčastěji el. proud. Diagnostický systém nemusí generovat testovací signál. Využívá statorový proud při zachování provozu stroje. Hovoříme tedy o funkční diagnostice. Diagnostický signál je převáděn pomocí FFT do frekvenčních spekter. Provádí se frekvenční analýza napájecího proudu el. stroje. Dominantní složkou v proudových spektrech je první harmonická síťové frekvence a její násobky. Výrazné jsou také liché harmonické, které souvisí s rozložením vinutí do drážek, se změnou vodivosti vzduchové mezery způsobené drážkováním a mohou být způsobeny i nesinusovým napájecím napětím. Do analyzátoru přivádíme obvykle napětí snímané z odporu, kterým prochází proud z proudových kleští připojených na vstupní napájecí kabely stroje. Hodnocení stavu měřeného stroje se provádí porovnáváním amplitud v proudovém spektru. Porovnává se první harmonická amplituda s amplitudami ostatních frekvencí. Amplitudový rozdíl mezi první harmonickou a ostatními frekvencemi by měl být větší než 40 dB.

Závady vývěvy nXDS, které lze odhalit pomocí elektrotechnické diagnostiky:

Vývěva je poháněna asynchronním elektromotorem s radiální vzduchovou mezerou integrovaným do vývěvy. Na tomto motoru se můžou vyskytnout následující poruchy.

Statická excentricita je vyosení osy statoru oproti ose rotoru. To má za následek nerovnoměrnou vzduchovou mezeru. V místě, kde je vzduchová mezera menší, dochází k silnější interakci mezi statorovým a rotorovým magnetickým polem. Statická excentricita se projeví v postraních pásmech, které jsou posunuty od síťové frekvence o synchronní otáčkovou frekvenci.

Porušené rotorové tyče způsobují zhoršený rozběh stroje, oteplení nepoškozené části vinutí motoru, vznik parazitních momentů. Ve frekvenčním spektru se zobrazí v postraním pásmu posunutém od základní harmonické frekvence.

Nesprávné ustavení scrollů tato závada má velký vliv na funkčnost vývěvy. Teoreticky by se mohla projevit postraními pásmy posunutými od frekvence sítě. Tato závada bude odhalena při testování funkčních parametrů.

Srovnání proudové a vibrační diagnostiky

Měření pomocí proudových spekter je o něco jednodušší než měření pomocí spekter vibračních. Výsledné zjištěné hodnoty jsou srovnatelné. Proud je ovlivněn napětím, proto je nutné udělat také spektrální rozbor napětí, aby nedošlo k špatné interpretaci závad.

4 Aplikace diagnostiky na vývěvu nXDS

Po srovnání metod ve výše uvedených kapitolách navrhuji aplikovat parametrickou diagnostiku pro odhalení nedostatečných výkonových parametrů, vibrodiagnostiku pro odhalení závad a jejich příčin doplněnou o elektrodiagnostiku pro stanovení závad el. původu. Vibrodiagnostika je z mého pohledu nejvhodnější metodou pro odhalení závad vývěv nXDS z důvodu jejího největšího rozsahu možných odhalených závad a jejich příčin. Akustická diagnostika je náročná na prostředí, ve kterém se měření provádí, je vhodná spíše pro laboratorní měření, jelikož se měření provádí přímo na výrobní hale, je tato metoda nevhodná. Termodiagnostika odhalí malé množství závad a neodhalí jejich příčiny, ale výhodou je její jednoduchost. Pro finální test vývěvy nXDS není příliš vhodná. Elektrodiagnostika odhalí příčiny závad el. původu, odhalení mechanických závad touto metodou je omezené. Vibrodiagnostika je nejuniverzálnější metodou, odhalí závady jak mechanického tak elektrického původu a jejich příčiny, odhalení příčin závad el. původu touto metodou může být problematické, proto navrhuji použití této metody pro zjištění závad, doplněné o elektrodiagnostiku pro zjištění závad el. původu, v kombinaci s parametrickou diagnostikou pro zjištění nedostatečných výkonových parametrů.

4.1 Měření vývěvy nXDS

Na vývěvě nXDS jsem provedl měření vibrací pro zjištění celkového technického stavu vývěvy, především pro odhalení závad mechanického původu, doplněné o měření proudových spekter pro lepší odhalení závad el. původu.

4.1.1 Použité přístroje

Analyzátor ADASH A4400 - VA4Pro

Je přenosný analyzátor, který patří k nejlepším dostupným analyzátorům na trhu. Technická specifikace analyzátoru je uvedena v následující tabulce.

Vstupní kanály:	<ul style="list-style-type: none"> • 4 AC s možností ICP® napájení • 4 DC pro procesní veličiny • 1 TACHO pro externí spouštění 	Zpracování dat:	<ul style="list-style-type: none"> • FFT analýza v reálném čase • ENVELOPE - obálková analýza • ACMT - analýza stavu pomaloběžných ložisek • řádová analýza • měření v uživatelských pásmech • měření otáček • měření procesních DC veličin
Vstupní rozsahy:	<ul style="list-style-type: none"> • AC +/- 12 V peak-peak • DC +/- 24 V 		
AD převodník:	• 24 bit, 64 bit zpracování signálu není potřeba AutoGain!		
Odstup Signál/Šum:	• 110 dB	Spouštění:	<ul style="list-style-type: none"> • manuálně • externě - tachosonda, TTL úrovně • překročením zvolené amplitudy signálu • časovým intervalem • změnou otáček
Vzorkovací frekvence:	<ul style="list-style-type: none"> • max. 196 kHz pro 1 kanál • max. 64 kHz současně pro 4 kanály • min. 64 Hz 	Displej:	• barevný 800 x 600, LCD
Synchronizace:	• plně synchronní měření na 4 kanálech	Rozhraní:	• USB, Ethernet
Rozsah FFT:	<ul style="list-style-type: none"> • min. 100 čar • max. 25 600 čar 	Teplotní rozsah:	• -10°C až +50°C
Režimy měření:	<ul style="list-style-type: none"> • Datakolector - pochůzková měření • Analyzátor - analytická měření • Balancer - provozní vyvažování strojů • RunUp - měření rozběhů a doběhů • Recorder - záznam signálů 	Napájení:	• akumulátor pro 6 hodin, AC 230 V
Procesor:	• Intel Atom 1,6 GHz	Rozměry:	• 230 x 140 x 60 mm
Paměť pro data:	• až 120 GB	Krytí:	• IP 65
		Váha:	• cca 2000 g

Tab. 8-1 Technická specifikace Analyzátoru ADASH A4400 - VA4Pro [20]



Obr. 8-1 Analyzátor ADASH A4400 - VA4Pro [20]

Snímač ADASH A115-1A

Tříosý akcelerometr umožňuje měřit vibrace ve třech osách z jednoho měřicího místa. Je vhodný pro použití na zařízeních, kde konstrukční provedení neumožňuje, nebo je obtížné připevnění snímače v měřených osách. Další výhodou je jeho příznivá pořizovací cena, nevýhodou tohoto snímače jsou horší výkonové parametry.

Citlivost ($\pm 15\%$)	100 mV/g
Měřicí rozsah	± 50 g
Frekvenční rozsah (± 3 dB)	1 - 6500 Hz
Napájení	18 – 30 V (DC)
Teplotní rozsah	-50 až 121°C
Hmotnost	200 g
Snímací prvek	PZT keramika
Konstrukce	smykový
Konektor	4-Pin J konektor



Tab.8-2 Parametry snímače ADASH A115-1A [19] Obr. 8-2 Snímač ADASH A115-1A

Snímač A150-1A

Jednoosý akcelerometr umožňuje snímat vibrace pouze v jednom směru. Má o něco lepší výkonové parametry než snímač tříosý.

Citlivost ($\pm 10\%$)	100 mV/g
Měřicí rozsah	± 50 g
Frekvenční rozsah (± 3 dB)	0,5 - 15000 Hz
Napájení	18 – 30 V (DC)
Teplotní rozsah	-50 až 121°C
Hmotnost	90 g
Konektor	2-Pin konektor



Tab.8-3 Parametry snímače A150-1A

Obr. 8-3 Snímač A150-1A

Klešťový transformátor PK 460

Tento přístroj vyrábí český výrobce METRA BLANSKO a.s. Klešťový transformátor PK 460 má volitelný převodový poměr a je určen k transformování a měření střídavých proudů bez nutnosti přerušení měřeného obvodu.

Technické parametry:

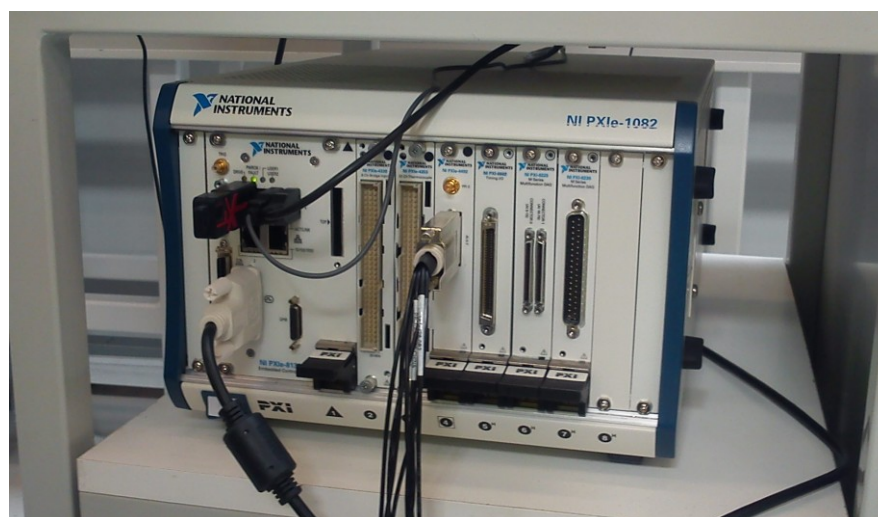
- Primární proud: 1 až 500 A
- Prevodní poměry: 10 A / 1 mA
- Přesnost: $\pm 1,5\%$
- Rozsah pracovních hodnot: -20°C až +40°C
- Maximální rozměr měřeného vodiče: průměr 28 mm; lišta: 30 x 20 mm



Obr. 8-3 Klešťový transformátor PK 460 [21]

Měřicí zařízení NI PXIe-1082

Toto zařízení je velmi kvalitní a výkonné, lze jej individuálně sestavit podle jeho použití. Výrobcem tohoto zařízení je firma NATIONAL INSTRUMENT.



Obr. 8-4 Měřicí zařízení NI PXIe-1082

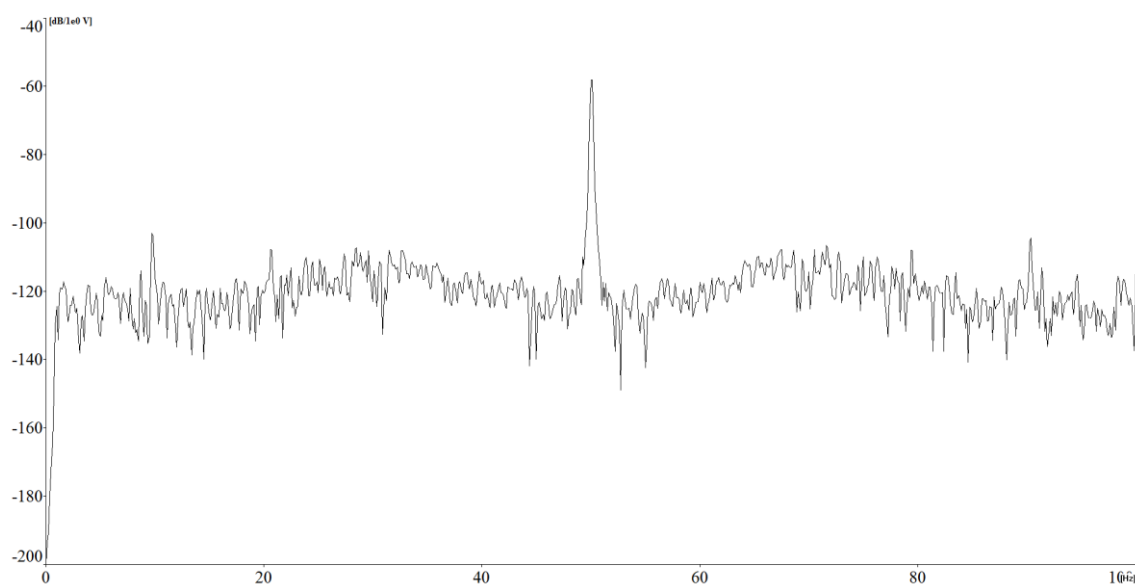
4.2 Měření proudových spekter vývěvy nXDS

Měření se provádělo pomocí klešťového transformátoru PK 460 propojeného s analyzátozem ADASH A4400 - VA4Pro. Klešťový transformátor byl připojen na jednu fázi napájecího kabelu.



Obr. 8-5 Měření proudových spekter

Ve frekvenčním spektru můžeme vidět amplitudu na síťové frekvenci, žádné jiné amplitudy, které by značily poruchu, ve spektru nejsou. Je tedy patrné, že na vývěvě nXDS nejsou žádné závady el. původu.



Obr. 8-6 Frekvenční spektrum statorového proudu

4.3 Měření vibrací vývěvy nXDS

Volba měřících míst

Vývěva nXDS je vyrobena z hliníku, proto není možné použití snímače s magnetem. Žebrování vývěvy a její oblé tvary znemožňují nalepení snímače. Konstrukteři vývěvy však s upevněním snímače počítaly, proto je na horní straně vývěvy našroubováno závěsné oko, po jeho vyšroubování získáváme místo pro našroubování snímače. Našroubovaný snímač zaručuje dobrý přenos vibračního signálu z vývěvy na snímač. Z důvodu jednoho měřícího místa byl použit tříosý snímač, kterým je možné měřit vibrace ve vertikálním, horizontálním i axiálním směru. Tříosý snímač má horší citlivost a měřící rozsah, proto byl použit také jednoosý snímač pro porovnání naměřených hodnot ve vertikálním směru.

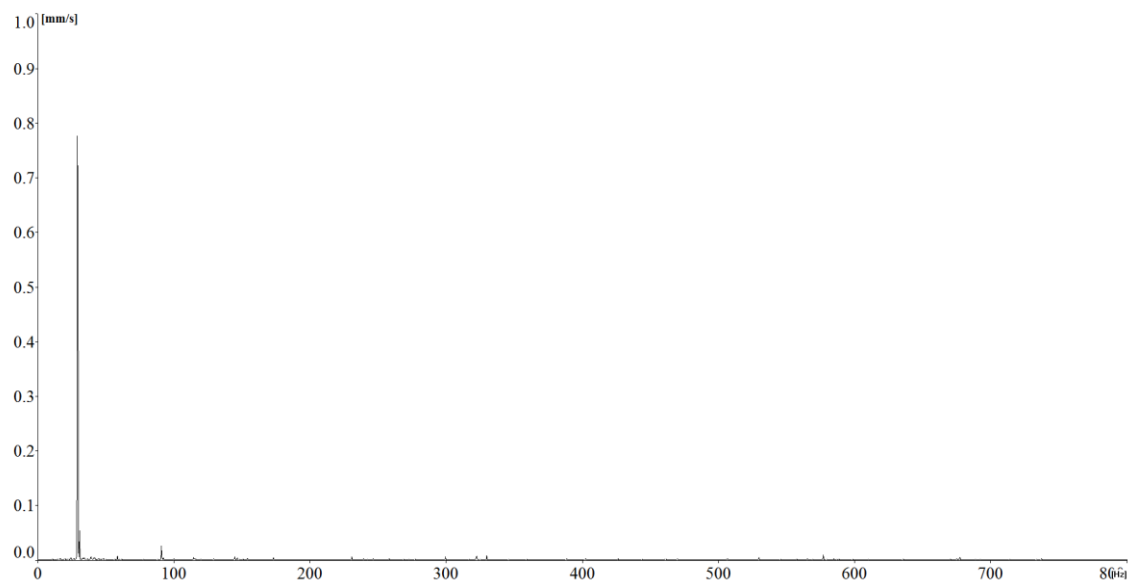


Obr. 8-7 Umístění snímače

Frekvenční spektra rychlosti vibrací

Při porovnání frekvenčních spekter ve vertikálním směru z jednotlivých snímačů a analyzátorů jsem zjistil, že frekvenční oblast spekter je shodná a rozdíl v amplitudách je pouze nepatrný.

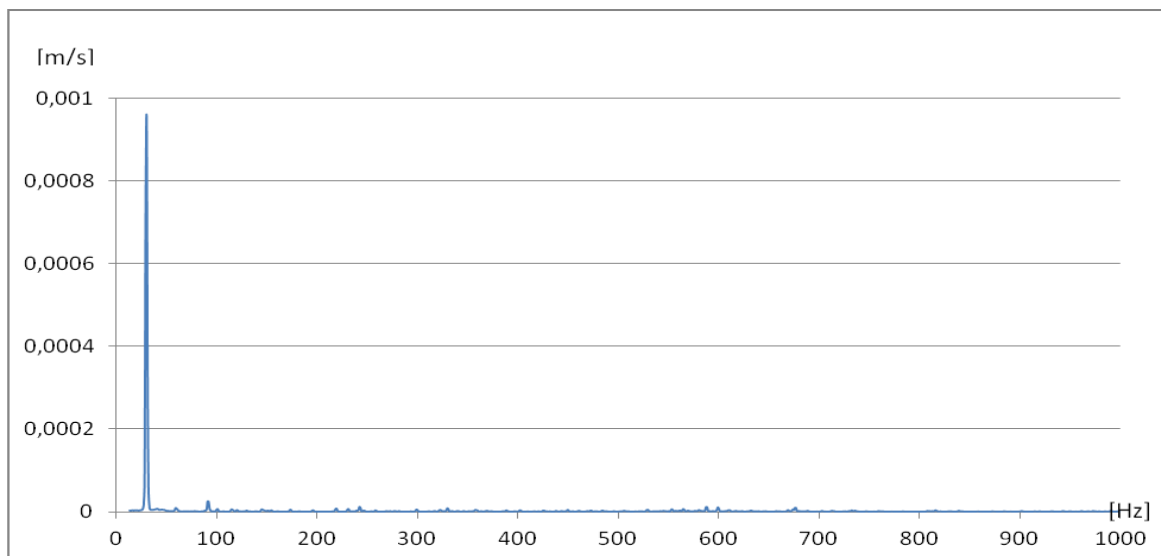
Ve spektrech je dominantní složka vibrací na frekvenci 29,25Hz, což je otáčková frekvence. Další amplitudy jsou tak malé, že je můžeme zanedbat. Amplituda na otáčkové frekvenci bez dalších násobků ukazuje na nevývahu. Naměřená hodnota nevývahy splňuje normu ČSN ISO 10816.



Obr. 8-8 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, vertikální směr,
jednoosý snímač

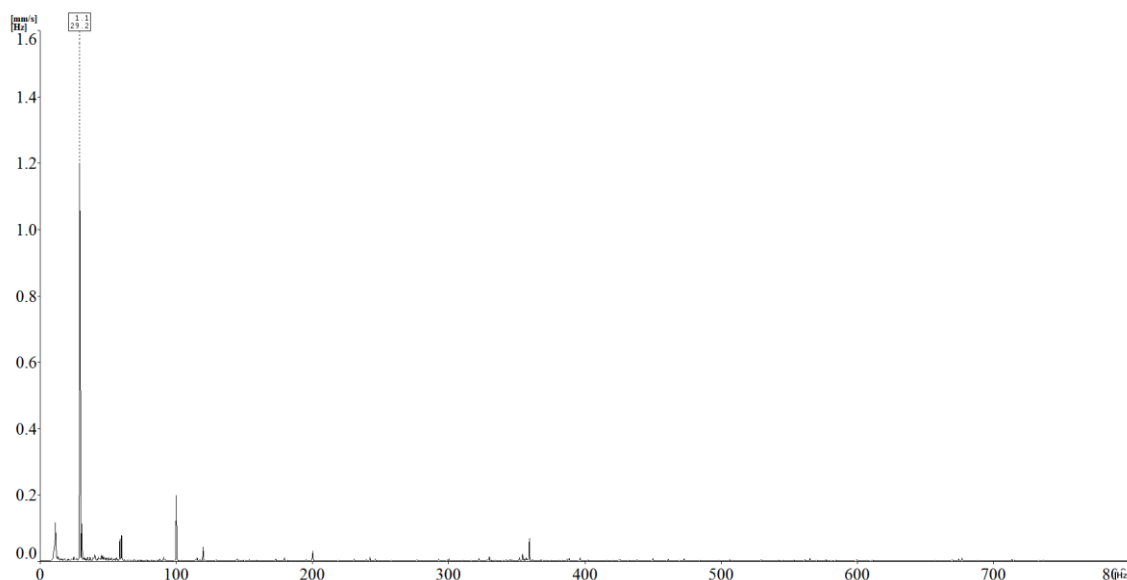


Obr. 8-9 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, vertikální směr,
tříosý snímač

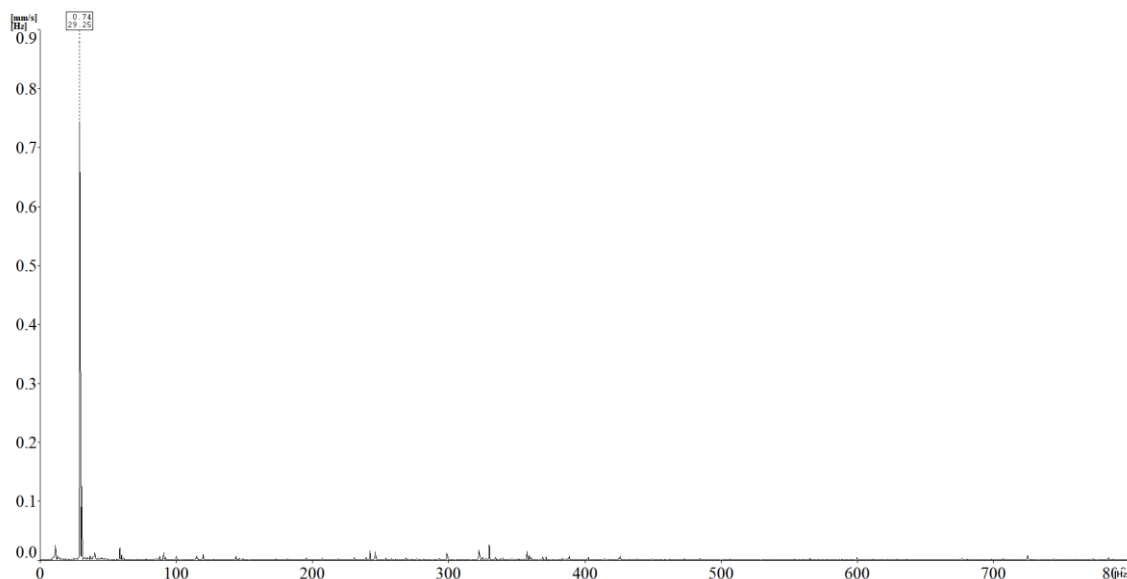


Obr. 8-10 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, vertikální směr, jednoosý snímač, Edwards

Při porovnání frekvenčních spekter z vertikálního, horizontálního a axiálního směru jsem zjistil, že jsou spektra téměř shodná, a to jak ve frekvencích, tak i v amplitudách. Ve spektrech je amplituda na první otáčkové frekvenci a amplitudy na ostatních frekvencích jsou velmi malé. Ve spektrech ze všech směrů je tedy patrná nevývaha.



Obr. 8-11 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, horizontální směr, tříosý snímač



Obr. 8-12 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, axiální směr, tříosý snímač

Obálka zrychlení

Tato metoda je určena především k odhalování závad ložisek a ozubení. Princip metody je v odfiltrování složek vibrací, které nesouvisí s poruchami ložisek.

Poruchové frekvence ložisek

Poruchové frekvence typizovaných ložisek jsem zjistil podle jejich číselného označení na webových stránkách výrobce, kde se nachází program, který po zadání číselného označení a otáček vypočte poruchové frekvence daných ložisek.

Ložisko NSK 6206

BPFO 158,587 Hz

BPFI 104,663 Hz

BSF 136,804 Hz

Ložisko NSK 6304

BPFO 129,462 Hz

BPFI 75,288 Hz

BSF 102,812 Hz

Na vývěvě nXDS je použito také nestandardní ložisko, které je vyráběno speciálně pro firmu Edwards. U tohoto ložiska jsem poruchové frekvence zjistil výpočtem.

Rozměry ložiska:

$$\begin{aligned} d &= 23,352 \text{ mm} & D &= 40,119 \text{ mm} & P_d &= 31,736 \text{ mm} & B_d &= 8,717 \text{ mm} \\ n &= 10 & \text{RPM} &= 1755 \text{ min}^{-1} & \alpha &= 40^\circ \end{aligned}$$

Výpočet poruchových frekvencí ložiska pro orbit scroll:

$$BPFI = \frac{n}{2} \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \alpha \right) = \frac{10}{2} \cdot \frac{1755}{60} \cdot \left(1 - \frac{8,717}{31,736} \cdot \cos 40^\circ \right) = 115,477 \text{ Hz}$$

$$BPFO = \frac{n}{2} \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \alpha \right) = \frac{10}{2} \cdot \frac{1755}{60} \cdot \left(1 + \frac{8,717}{31,736} \cdot \cos 40^\circ \right) = 177,023 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} BSF &= \frac{P_d}{2B_d} \cdot \frac{\text{RPM}}{60} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cdot \cos^2 \alpha \right] = \frac{31,736}{2 \cdot 8,717} \cdot \frac{1755}{60} \cdot \left[1 - \left(\frac{8,717}{31,736} \right)^2 \cdot \cos^2 40^\circ \right] \\ &= 50,888 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$FTF = \frac{BPFI}{n} = \frac{115,477}{10} = 11,548 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska pro orbit scroll

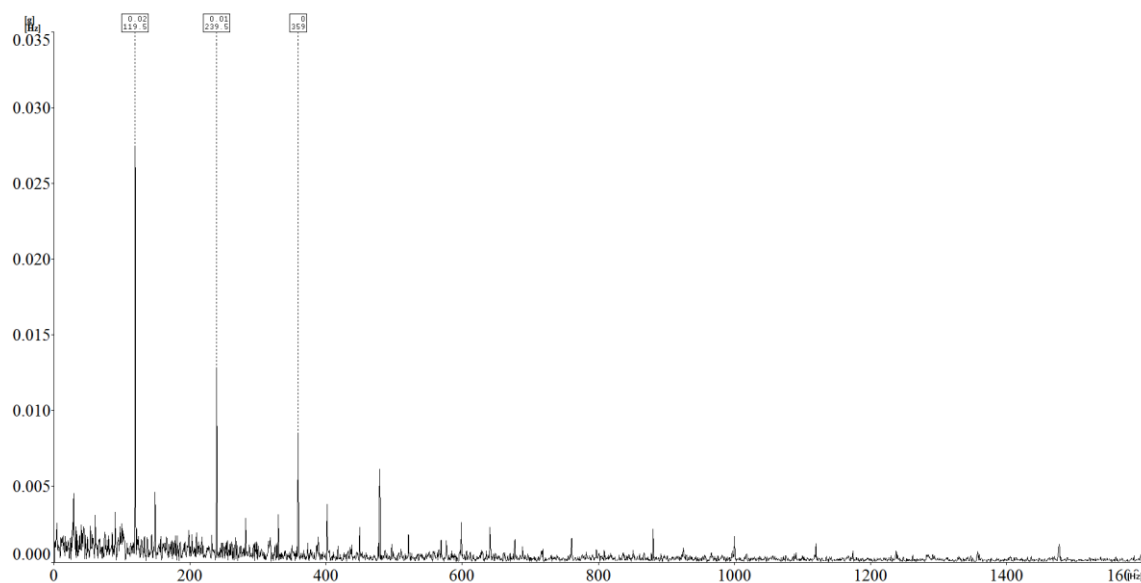
BPFI 115,477 Hz

BPFO 177,023 Hz

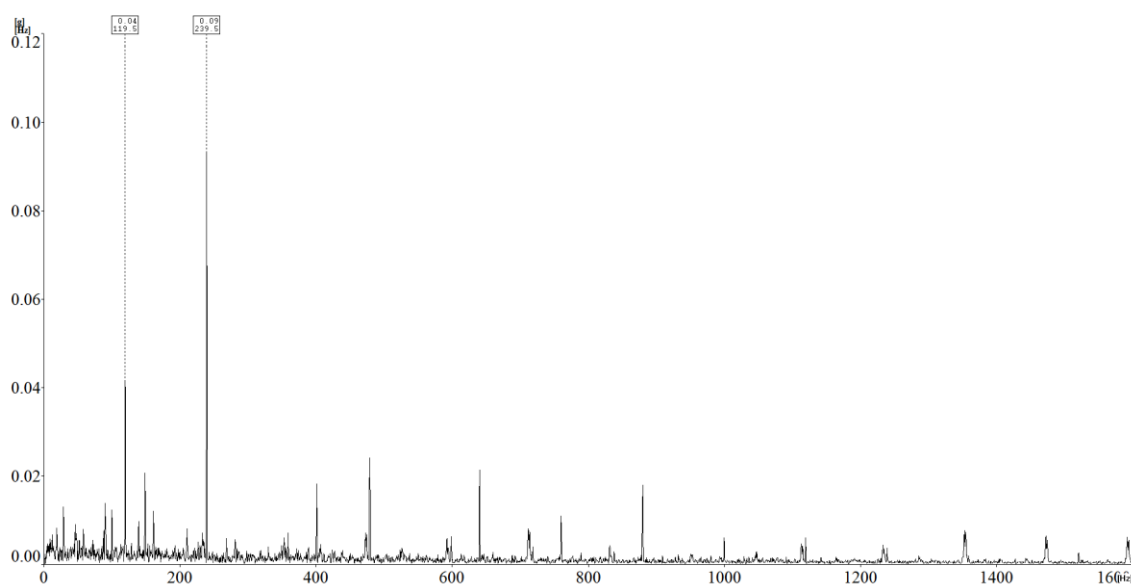
BSF 50,888 Hz

FTF 11,548 Hz

Ve spektru obálky zrychlení jsou amplitudy na frekvenci 119,5 Hz a jejich násobcích. Tato frekvence neodpovídá žádné z poruchových frekvencí ložisek, nejvíce se blíží poruchové frekvenci vnitřního kroužku atypického ložiska pro orbit scroll. Amplitudy ve spektru obálky zrychlení nemusí být způsobeny poruchou ložiska, ale mohou pocházet například od scrollů.



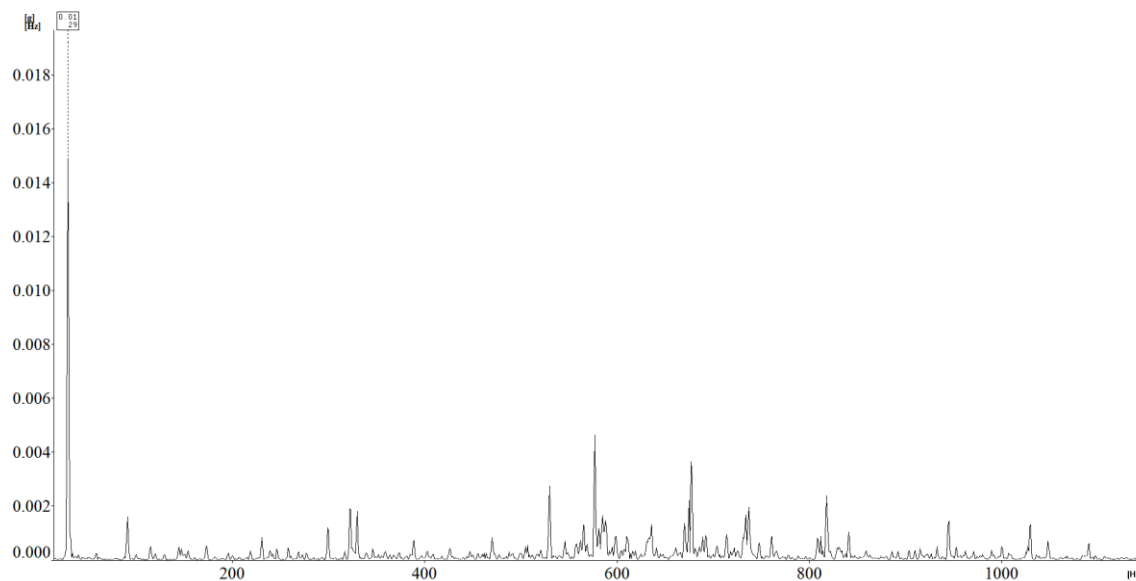
Obr. 8-13 Obálka zrychlení vertikální směr jednoosý snímač



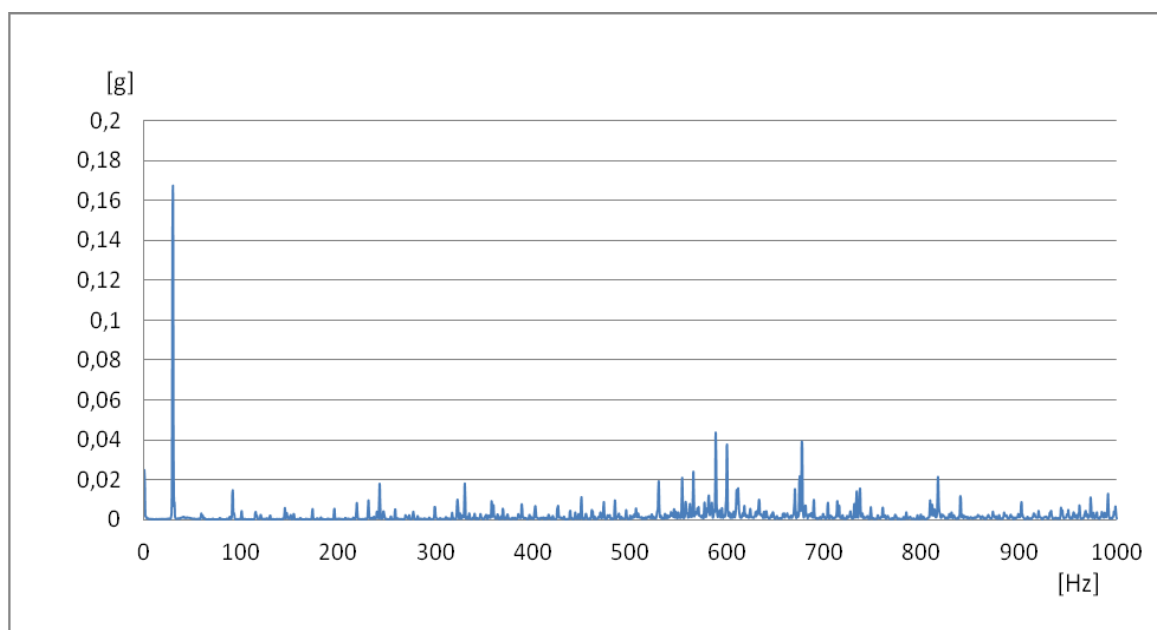
Obr. 8-14 Obálka zrychlení vertikální směr tříosý snímač

Spektra zrychlení vibrací

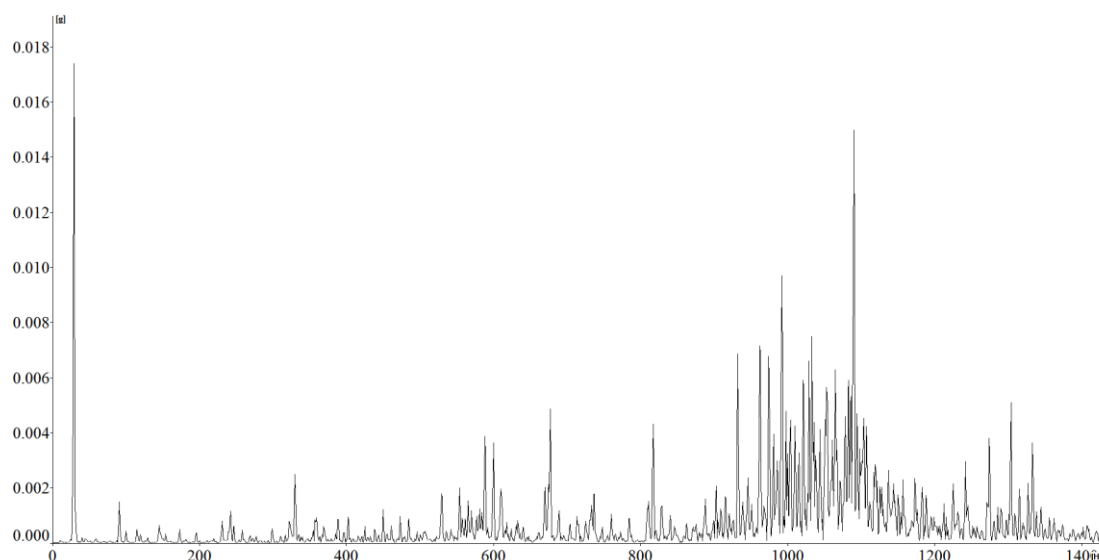
Při porovnání spekter zrychlení vibrací z jednotlivých měřicích zařízení a snímačů jsem zjistil, že naměřená data z jednoosých snímačů jsou shodná, ale ve spektru měřeném tříosým snímačem se navíc oproti spektrům z jednoosých snímačů vyskytují amplitudy kolem 1000Hz. Předpokládám, že tyto amplitudy jsou způsobeny nepřesností.



Obr. 8-15 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací, vertikální směr, jednoosý snímač



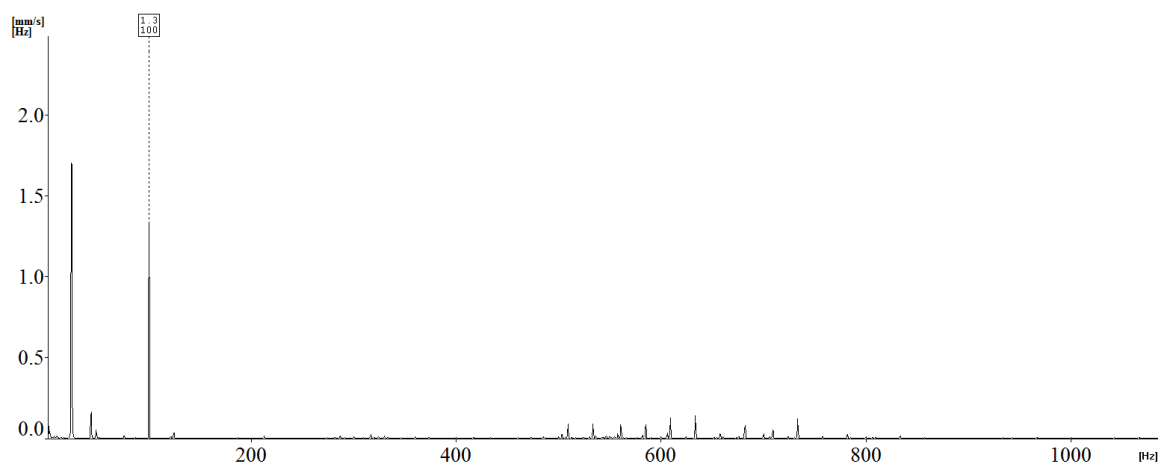
Obr. 8-16 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací, vertikální směr,
jednoosý snímač, Edwards



Obr. 8-17 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací, vertikální směr, tříosý snímač

Konstrukce vývěv nXDS je oproti předchozí generaci vývěv XDS výrazně lepší. Princip konstrukce zůstal stejný, došlo pouze k několika podstatným změnám. Asynchronní elektromotor s axiální vzduchovou mezerou byl nahrazen elektromotorem s radiální vzduchovou mezerou. Dalšími změny jsou v uložení hřídele a v řídicí elektronice.

U vývěv XDS se vyskytovaly problémy s vibracemi způsobenými axiálním elektromotorem, které přechodem na radiální elektromotor ustaly. Ve spektru vibrací vývěvy XDS je amplituda na otáčkové frekvenci, ta je způsobena nevývahou, a na frekvenci 100Hz, což je dvojnásobek síťové frekvence. Amplituda na dvojnásobku síťové frekvence 100Hz, ukazuje na závadu elektrického původu. Ve spektru vibrací vývěvy nXDS se vyskytuje pouze nevývahová složka.

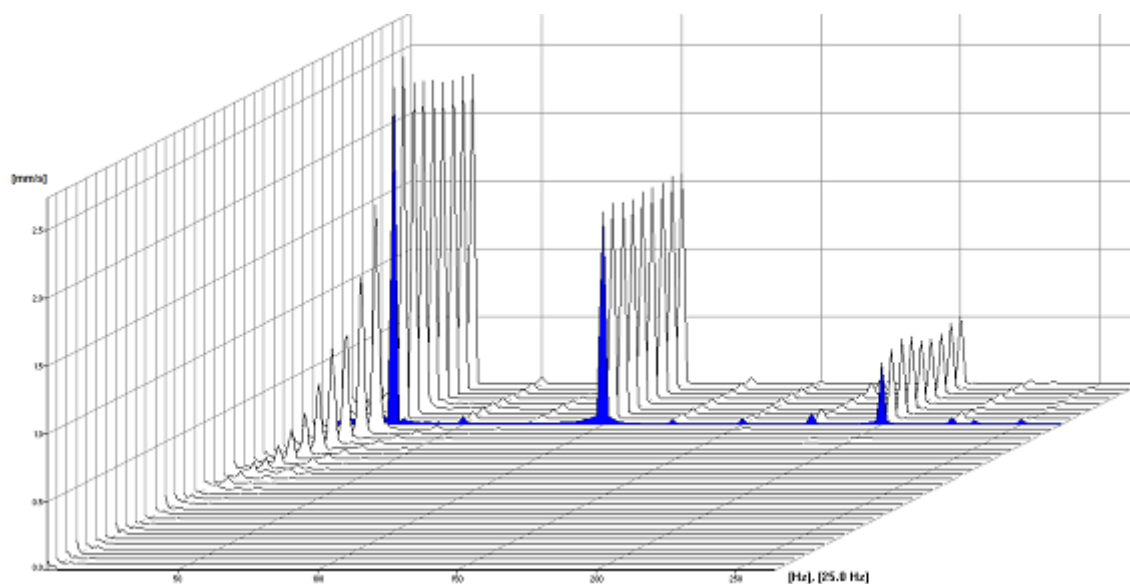


Obr. 8-18 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, XDS [22]



Obr. 8-19 Frekvenční spektrum efektivní hodnoty rychlosti vibrací, nXDS

Na následujícím spektru doběhu je vidět, že nevývahová složka vibrací po vypnutí elektromotoru klesá, zatímco složky vibrací el. původu okamžitě zmizí.



Obr. 8-20 Doběhový záznam frekvenčního spektra rychlosti vibrací [22]

5 Závěr

Úvod bakalářské práce je věnován seznámení s vakuem, jeho výrobou a použitím. V této práci jsem se zabýval vhodnými metodami technické diagnostiky pro finální kontrolu vývěv řady nXDS. Finální test se provádí u všech vyrobených vývěv, aby se k zákazníkům dostaly jen výrobky 100% kvality. Současný finální test je postaven na kombinaci parametrické diagnostiky a vibrodiagnostiky. U předchozí generace vývěv se vyskytovaly problémy s elektromotory. Nová generace vývěv má vylepšenou konstrukci a jiný elektromotor, přesto navrhuji doplnit stávající kombinaci metod o elektrodiagnostiku pro odhalení závad el. původu a také pro sledování kvality dodávaných elektromotorů. Na vývěvě nXDS jsem provedl měření vibrací a proudových spekter. Jelikož se měření provádí na nových vývěvách, nenalezl jsem žádné vážné závady, jak mechanické, při měření vibrací, tak ani el. původu, při měření proudových spekter. U současného finálního testu se provádí měření vibrací pouze ve vertikálním směru. Provedl jsem měření vibrací i ve směru horizontálním a axiálním. Jelikož konstrukce vývěvy umožňuje připevnění snímače pouze ve vertikálním směru, použil jsem pro měření vibrací v horizontálním a axiálním směru tříosý snímač. Doporučuji použití tohoto snímače, i když může být problém s jeho aplikací do současného vyhodnocovacího softwaru.

Použitá literatura:

- [1] ERBEN, Milan. *Vakuová technika : Získávání a měření vakua, využití vakuových technologií* [online]. Univerzita Pardubice, 2008 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/koanch/soubory/vakuum-erben.pdf>
- [2] ACTIVAIR. Informace o vakuu. *Actiair.cz* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.activair.cz/cs/technicke-informace/informace-o-vakuu>
- [3] Podkladové materiály firmy Edwards s.r.o., Jana Sigmunda 300, Lutín, 783 49
- [4] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost II: Vibrodiagnostika*. Ostrava.
- [5] KREIDL, Marcel. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. ISBN 80-730-0158-6.
- [6] VDOLEČEK, František. *Spolehlivost a technická diagnostika* [online]. VUT Brno, 2002 [cit. 2012-05-12]. : Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>
- [7] BERRY, James E. . *Illustrated Vibration Diagnostics Chart* [online]. Český překlad.: Technical associates of Charlotte, 2005 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_4b.pdf
- [8] *Diagnostika elektromotorů-vibrace*. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_8_tab_obr.pdf
- [9] JAKSCH, Ivan. *Technická diagnostika: Zaklady akustiky a hlukové diagnostiky*. Liberec, 2010. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.rss.tul.cz/ftppub/tdg/P7_hluk_ESF.pdf
- [10] NĚMEČEK, Pavel. *Akustická diagnostika* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/technicka_diagnostika/In-TECH%20%20Akusticka_diagnostika.pdf
- [11] ŠMÍD, R. *Hluková diagnostika* [online]. CVUT, 2007 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/smid/lectures/sound07.pdf>
- [12] *Diagnostika pomocí akustické emise* [online]. CVUT, 2007 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/smid/lectures/ae2007.pdf>

- [13] JENČÍK, Josef a Jaromír VOLF. *Technická měření*. CVUT, 2003 [cit. 2012-05-12].
- [14] VDOLEČEK, František. *Technická měření* [online]. VUT Brno, 2002
[cit. 2012-05-12]. : Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/ETC.pdf>
- [15] SZMEK, Tomáš. *Měření teploty v technické diagnostice*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav automatizace a informatiky
- [16] SOKANSKÝ, Karel. *Diagnostika vybraných poruch asynchronních motorů pomocí proudových spekter* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.cmms.cz/elektromotory/179-diagnostika-vybranych-poruch-asynchronnich-motoru-pomoci-proudovych-spekter.html>
- [17] *Konstrukce elektromotorů*. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_8_elektromotory.pdf
- [18] *Valivá ložiska*. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_6.pdf
- [19] ŠTUDENT, David. *Technická diagnostika suchých šnekových vývěv*. Ostrava, 2011, 85 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní
- [20] Adash s.r.o. *A4400 - VA4Pro : Informační leták* [online]. 2011 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.adash.cz/doc/a4400/A4400_info_CZ.pdf
- [21] METRA. Klešťové transformátory. *Metra.cz* [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.metra.cz/merici-technika/merici-pristroje/klestove-pristroje/klestove-transformatory/klestovy-transformator-s-volitelnym-prevodovym-pomerem-pk-460/#!prettyPhoto>
- [22] Podkladové materiály BLATA, Jan